This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

UC-NRLF
$B 80 005

REESE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
Received January 1883.
Accessions No. 21434 Shelf No.

EX LIBRIS
·M·K·M·
UNIVERSITY OF CALIFORNIA

MIM KAPH MIM LIBRARY
CHEM. BLDG. U. C

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

Handbuch

der

chemischen Technologie.

In Verbindung

mit

mehren Gelehrten und Technikern bearbeitet,

und herausgegeben

von

Dr. P. Bolley,

weil. Professor der technischen Chemie am Schweizerischen Polytechnicum in Zürich.

Nach dem Tode des Herausgebers fortgesetzt

von

Dr. A. Birnbaum,

Hofrath und Professor der Chemie am Polytechnicum in Karlsruhe.

Acht Bände,

die meisten in mehre Gruppen zerfallend.

Ersten Bandes dritte Gruppe:

Die chemische Technologie

der

Brennstoffe.

Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzstichen.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

1880.

Die

chemische Technologie

der

Brennstoffe.

Von

Dr. Ferdinand Fischer
in Hannover.

UNIVERSITY

Mit in den Text eingedruckten Holzstichen.

Braunschweig,
Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
1880.

TP318
F3

Alle Rechte vorbehalten.

21484

1. Wärmemeſſung.

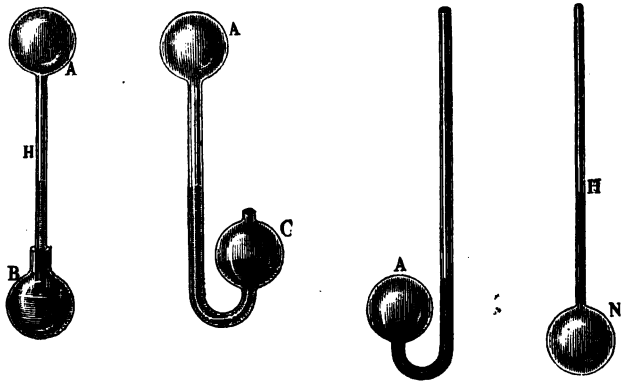
Geſchichte. Das erſte Thermometer ſoll von Galilei im Jahre 1556 hergeſtellt ſein. Daſſelbe war nach Tait[1]) ein Luftthermometer und beſtand aus einer Kugel mit einer Röhre, die in eine Flüſſigkeit eintauchte. Es wurde zuerſt benutzt, die Temperatur eines Kranken zu beſtimmen, der zu dieſem Zwecke die Kugel in den Mund nahm. Libri[2]) bezweifelt das, da ſonſt die Mitglieder der Florentiner Akademie dieſes erwähnt haben würden. Dem entſprechend ſchreibt man in der Regel das erſte Thermometer nach Dalence[3]) dem Cornelius Drebbel in Alkmaar für das Jahr 1638 zu. Daſſelbe beſteht aus einer Kugel *A* (Fig. 1, a. S. 2) mit angeſchmolzener Röhre, deren Mündung in das Gefäß *B* mit einer ſehr verdünnten Löſung von Kupfer in Scheidewaſſer geſenkt iſt. Bei mittlerer Temperatur ſteht die Flüſſigkeit bei *H*, ſie ſinkt beim Erwärmen und ſteigt beim Abkühlen; doch wurde dieſe Bewegung nach einer willkürlichen Scala abgeleſen. Wolf[4]) nahm ſtatt des unteren Gefäßes eine offene Kugel *C* (Fig. 2), um den Apparat bequemer aufhängen zu können. Da auf dieſe eingeſchloſſene feuchte Luft nicht nur die Wärme, ſondern auch die äußere Atmoſphäre wirkt, ſo waren dieſe Wärmemeſſer ſehr unvollkommen. Becher[5]) ließ (1680) die Kugel *C* weg, bog die Röhre nach oben und füllte ſie mit Queckſilber. Das Luftthermometer von Amontons[6]) beſtand aus einer mit Luft gefüllten Kugel *A* (Fig. 3) und einem etwa 1,2 m langen Glasrohre, welches Queckſilber enthielt. Gehler[7]) verbeſſerte dieſen Apparat; beide berückſichtigten bei ihren Meſſungen auch den veränderlichen Druck der äußeren Atmoſphäre. Lambert[8]) beſtimmte mit einem ſolchen Luftthermometer zuerſt die Ausdehnung der trocknen Luft zu 0,0037.

---

[1]) Dingl. 227, 412. Nach anderen Angaben iſt dieſes Thermometer dem Arzt Sanctorius in Padua zuzuſchreiben. Der eigentliche Erfinder des Thermometers wird wohl unbekannt bleiben. — [2]) Annal. de chim. phys. 40, 355. — [3]) Traité des baromètres, thermomètres et notiomètres (Amsterdam 1688). — [4]) Nützliche Verſuche, 2. Cap., V, §. *56. — [5]) Fiſcher, Phyſikaliſches Wörterbuch 1804, Bd. 5, 50. — [6]) Mémoir. de l'Academie de Paris, 1702, 1; 1703, 260. — [7]) Phyſikaliſches Wörterbuch 1839, Bd. 9, S. *832. — [8]) Pyrometrie (Berlin 1779).

Inzwischen waren die ersten Thermometer mit einer in Glas eingeschmolzenen Flüssigkeit unter der Leitung Rivieri's (gest. 1647) von Giuseppe Moriani, einem geschickten Glasbläser, ausgeführt. Diese Wärmemesser, mit denen die Florentiner Akademie [1]) u. a. fand, daß das Schmelzen des Eises stets bei derselben Temperatur stattfindet, bestand aus einer Kugel *N* (Fig. 4) mit angeschmolzenem Rohr, war bis *H* mit Weingeist gefüllt und auf einem mit einer Scala

Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4.



versehenen Holzbrettchen befestigt, in derselben Weise, wie dies bei unseren gewöhnlichen Zimmerthermometern noch heute der Fall ist. Newton [2]) füllte sein Thermometer mit Leinöl, Fahrenheit in Danzig, der die ersten Thermometer mit gleichförmiger Theilung lieferte, verwendete anfangs wieder Weingeist, dann aber 1709 (nach anderen Angaben 1714) Quecksilber zur Füllung. Reaumur [3]) nahm wieder Weingeist von der Stärke, daß er Schießpulver entzündete, Lutz [4]) Ammoniakflüssigkeit; auch wurden von Muncke [5]) concentrirte Schwefelsäure, Schwefelkohlenstoff und Petroleum besprochen, ohne daß jedoch diese Stoffe irgend welchen Beifall gefunden hätten.

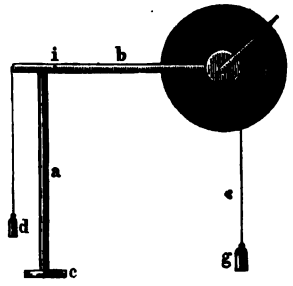
Nachdem bereits Muschenbroek [6]), welcher zuerst den Namen Pyrometer gebrauchte (1731), Ellicott (1736) u. A. die Ausdehnung der Metalle beim Erwärmen dadurch untersucht hatten, daß sie das eine Ende einer Stange festlegten, das andere aber durch Räder oder Hebelübertragung auf einen Zeiger wirken ließen, stellte Mortimer [7]) 1746 das erste Metallthermometer her. Der runde eiserne Stab *a* (Fig. 5) von etwa 1 m Länge wurde bei *c* in einem Gestell unbeweglich befestigt. Das freie Ende drückte gegen den kürzeren Arm des um *i* beweglichen Hebels *b*, dessen längerer Arm mit einer um die Rolle *e* laufenden

---

[1]) Tentamina Acad. del Cimento; Muschenbroek I, 2. — [2]) Philos. transact. 1701, Nr. 270. — [3]) Mém. de l'Acad. de Paris 1730, 452; 1731, 250. — [4]) Anweisung Thermometer zu verfertigen (Nürnberg 1781) 3. Aufl., 1834, S. *258. — [5]) Gehler's Physikalisches Wörterbuch 9, *848. — [6]) Fischer, Physikalisches Wörterbuch 1801, 4, *52. — [7]) Philosoph. trans. 44, *672.

Schnur verbunden war. Das Gegengewicht *g* hielt dieſe Schnur ſtraff, das Gewicht *d* ſorgte für die Berührung zwiſchen Hebel und Stange *a*. Sobald nun dieſe Stange durch die zu meſſende Wärme ausgedehnt wurde, drehte ſich mit der Rolle *e* der Zeiger *z* vor der unbeweglichen Scheibe *s*, auf der die Grade nach Fahrenheit aufgetragen waren. Löſer [1]) übertrug die Ausdehnung der Metallſtange durch Räder auf den Zeiger. Felter [2]) in Braunſchweig benutzte bald darauf die verſchiedene Ausdehnung zweier Metalle, indem er eine dünne, 1,2 m lange Meſſingſtange mit einer gleichen aus Eiſen durch Niete an einem Ende verband, während der Meſſingſtab am anderen Ende mit einem meterlangen Zeiger verbunden war, der durch den Eiſenſtab hindurch ging.

Fig. 5.



Mortimer hätte bei Beſchreibung ſeines Metallthermometers bereits bemerkt, daß man große Hitze durch die Zuſammenziehung von Pfeifenthon meſſen könne. Wedgwood [3]) ſetzte dem entſprechend einen beſtimmten Thon in Kugel-, Cylinder- und Würfelform der zu meſſenden Hitze aus und berechnete die Temperatur aus dem Schwinden deſſelben. Sein Nullpunkt war bei 1000° F. (538° C.), nach anderen Angaben bei 1077,5°, die höchſte von ihm erreichte Temperatur 160° ſeines Pyrometers angeblich 20 848° F. Die völlige Unbrauchbarkeit dieſer Apparate wurde namentlich von Guyton de Morveau [4]) nachgewieſen.

Die Florentiner Akademie theilte ihre Thermometer von dem Nullpunkt, welcher der Temperatur ihrer tiefen Keller und nach Libri [5]) 15° R. entſprach, ab nach oben und unten in willkürliche Grade ein. Renaldini [6]) ſchlug bereits die Anwendung von Eis und ſiedendem Waſſer zur Beſtimmung der feſten Punkte vor, worauf dann Newton den Nullpunkt ſeines Leinölthermometers mit Eis feſtſtellte, dann aber das Thermometer von 0° bis zur menſchlichen Blutwärme in 12 Grade theilte, ſo daß der Siedepunkt des Waſſers auf 34° fiel. Fahrenheit bezeichnete die im Winter 1809 in Danzig erreichte Kälte mit 0°, den Schmelzpunkt des Eiſes mit 32°, er hat aber außerdem jedenfalls ſchon das ſiedende Waſſer, 212° ſeines Thermometers, benutzt; mit ſeinen Angaben [7]) über die Herſtellung ſeiner Thermometer ſcheint er nur Andere haben irre führen zu wollen. Reaumur beſtimmte den Nullpunkt ſeiner ungemein großen Thermometer durch gefrierendes Waſſer, tauchte ſodann in ſiedendes Waſſer und ſchmolz ſie zu, ſobald der Weingeiſt die größte Höhe erreicht hatte; den Zwiſchenraum theilte er in 80°. Die Thermometer waren bei weitem nicht ſo genau, als die von Fahrenheit,

---

[1]) Titius: Thermometri metallici (Leipzig 1763). — [2]) Gothaiſches Magazin Bd. 4, III, 89. — [3]) Philos. trans. 72, 305; 74, 385; 96, 390; Gehler's Phyſikaliſches Wörterbuch 7, S. *983. — [4]) Essay de Pyrometrie (Paris 1808). — [5]) Poggendorff's Ann. 21, 325. — [6]) Philosophia naturalis (Patav. 1694), 3, 776. — [7]) Philosoph. trans. 1724, Nr. 382, 78.

wie namentlich de Luc [1]) nachwies, der auch für dieſe Thermometer die Vorzüge des Queckſilbers zeigte, die feſten Punkte genauer beſtimmte, die Eintheilung in 80° aber beibehielt, ſo daß dieſe Thermometer richtiger nach ihm benannt werden ſollten. Celſius [2]) endlich theilte das Thermometer vom Gefrierpunkt bis zum Siedepunkt des Waſſers in 100°. Zahlreiche Vorſchläge, von dieſer einfachen Eintheilung wieder abzugehen, haben glücklicher Weiſe keine weitere Beachtung gefunden [3]).

Da noch jetzt in England und Nordamerika faſt ausſchließlich die Thermometer nach Fahrenheit, ſonſt aber namentlich in Deutſchland neben den Graden von Celſius auch noch die von Reaumur (de Luc) gebraucht werden, ſo wird die Bemerkung nicht überflüſſig ſein, daß die Umrechnung derſelben in folgender Weiſe ausgeführt werden kann:

$$F. = {}^9/_4\ R. + 32 = {}^9/_5\ C. + 32$$
$$R. = {}^4/_9\ (F. - 32);\ C. = {}^5/_9\ (F. - 32) = {}^5/_4\ R.$$

Nebenſtehende Tabelle giebt eine Umrechnung für die gebräuchlichſten Temperaturen.

Ueberſicht der gebräuchlichſten Thermometer. Die bisher gemachten zahlreichen Vorſchläge zur Wärmemeſſung ſuchen dieſe Aufgabe zu löſen durch Benutzung folgender Erſcheinungen:

1. Ausdehnung feſter, flüſſiger und luftförmiger Körper.
2. Aenderung des Aggregatzuſtandes.
3. Diſſociation.
4. Optiſche und akuſtiſche Erſcheinungen.
5. Elektriſche Erſcheinungen.
6. Vertheilung der Wärme.

1. Ausdehnung. Die Ausdehnung feſter Körper hat man namentlich zur Beſtimmung hoher Temperaturen benutzt. Um dieſe verhältnißmäßig geringe Ausdehnung leichter ſichtbar zu machen wird ſie, wie bereits S. 3 erwähnt, meiſt durch Zahnräder oder Hebel auf einen Zeiger übertragen. Die der zu meſſenden Hitze ausgeſetzte Metallſtange *t* (Fig. 6, a. S. 6) berührt mit ihrem einen Ende bei *v* eine feſte Widerlage, während das andere Ende des Stabes gegen den kürzeren Arm *k* eines Winkelhebels ſtößt, deſſen längerer Arm *l* auf eine Scala bei *s* zeigt. Dehnt ſich die Stange *t* durch Erwärmen aus, ſo muß das

---

[1]) Unterſuchungen über die Atmoſphäre (Leipzig 1776), Bd. 1, 355. — [2]) Schwediſche Abhandlungen 1742, 197. — [3]) Fiſcher's Phyſik. Wörterb. Bd. 5, 62; Gehler's Wörterb. 870; Lutz, Thermometer, 274.

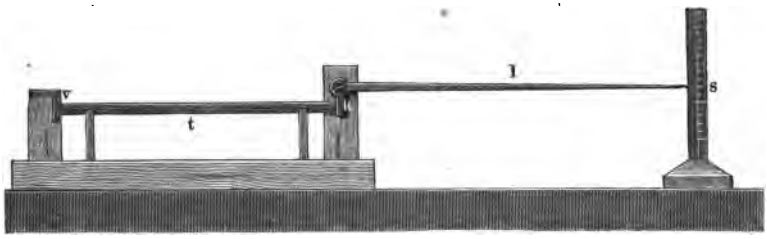
Es verdient noch bemerkt zu werden, daß bereits Cavendiſh (Phil. trans. 1757, 300) ein ſelbſtregiſtrirendes Thermometer beſchreibt, den Siedepunkt in Waſſerdampf beſtimmt, Hennert (Traité des thermomètres 1758, 44) die Correction eines Thermometers mittels eines abgeriſſenen Queckſilberfadens ausführt, und Rutherford (Edinburgh. Phil. trans. 1794) die erſten Thermometrographen aus Queckſilber- und Weingeiſtthermometer zuſammenſetzte.

Fahrenheit	Celsius	Reaumur (de Luc)	Celsius	Reaumur (de Luc)	Fahrenheit	Reaumur (de Luc)	Celsius	Fahrenheit
— 20	— 28,88	— 23,11	— 20	— 16,0	— 4,0	— 20	— 25,00	— 13,00
— 10	— 23,33	— 18,66	— 10	— 8,0	+ 14,0	— 10	— 12,00	+ 9,50
0	— 17,77	— 14,22	0	0,0	32,0	0	0,00	32,00
1	— 17,22	— 13,77	1	0,8	33,8	1	1,25	34,25
2	— 16,66	— 13,33	2	1,6	35,6	2	2,50	36,50
3	— 16,11	— 12,88	3	2,4	37,4	3	3,75	38,75
4	— 15,55	— 12,44	4	3,2	39,2	4	5,00	41,00
5	— 15,00	— 12,00	5	4,0	41,0	5	6,25	43,25
6	— 14,44	— 11,55	6	4,8	42,8	6	7,50	45,50
7	— 13,88	— 11,11	7	5,6	44,6	7	8,75	47,75
8	— 13,33	— 10,66	8	6,4	46,4	8	10,00	50,00
9	— 12,77	— 10,22	9	7,2	48,2	9	11,25	52,25
10	— 12,22	— 9,77	10	8,0	50,0	10	12,50	54,50
11	— 11,66	— 9,33	11	8,8	51,8	11	13,75	56,75
12	— 11,11	— 8,88	12	9,6	53,6	12	15,00	59,00
13	— 10,55	— 8,44	13	10,4	55,4	13	16,25	61,25
14	— 10,00	— 8,00	14	11,2	57,2	14	17,50	63,50
15	— 9,44	— 7,55	15	12,0	59,0	15	18,75	65,75
16	— 8,88	— 7,11	16	12,8	60,8	16	20,20	68,00
17	— 8,33	— 6,66	17	13,6	62,6	17	21,25	70,25
18	— 7,77	— 6,22	18	14,4	64,4	18	22,50	72,50
19	— 7,22	— 5,77	19	15,2	66,2	19	23,75	74,75
20	— 6,66	— 5,33	20	16,0	68,0	20	25,00	77,00
25	— 3,88	— 3,11	25	20,0	77,0	25	31,25	88,25
30	— 1,11	— 8,00	30	24,0	86,0	30	37,50	99,50
40	+ 4,44	+ 3,55	40	32,0	104,0	40	50,00	122,00
50	10,00	8,00	50	40,0	122,0	50	62,50	144,50
60	15,55	12,44	60	48,0	140,0	60	75,00	167,00
70	21,11	16,88	70	56,0	158,0	70	87,50	189,50
80	26,66	21,33	80	64,0	176,0	80	100,00	212,0
90	32,22	25,77	90	72,0	194,0	90	112,5	234,5
100	37,77	30,22	100	80,0	212,0	100	125,0	257,0
200	93,33	74,66	200	160,0	392,0	200	250,0	482,0
300	148,88	119,11	300	240,0	572,0	300	375,0	707,0

Ende des Zeigers *l* an der Scala in die Höhe gehen. William [1]) befestigte in dem Raume, dessen Temperatur bestimmt werden sollte, eine Metallstange, deren freies Ende aus der Ofenwand herausragte und auf einen Hebel wirkte, dessen Bewegung auf einen mittels Uhrwerk vorübergezogenen Papierstreifen selbstthätig aufgezeichnet wurde. Da es wohl kaum möglich ist, bei gewerblichen Feuerungsanlagen einen unverrückbaren Punkt für das festgelegte Ende eines solchen Metallstabes zu finden, so sind derartige Metallthermometer schon aus diesem Grunde durchaus unzuverlässig.

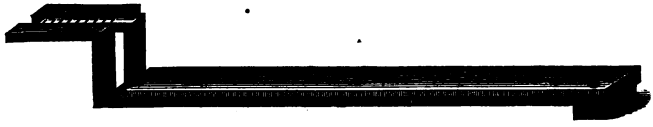
Mehr Vertrauen verdienen schon die Apparate, welche den Unterschied in der Ausdehnung zweier verschiedener Körper benutzen. Als eine der ältesten

Fig. 6.



derartigen Vorrichtungen ist das Pyrometer von Borda [2]) zu bezeichnen. Zwei aus verschiedenen Metallen gebildete Stäbe sind, ihrer Länge nach auf einander gelegt und, wie Fig. 7 zeigt, an dem einen Ende fest verbunden. Am anderen Ende trägt jeder Metallstab ein Messingstück, welches erst senkrecht aufsteigt und dann wagerecht umgebogen ist. Die horizontalen Arme des Ansatzstückes können frei

Fig. 7.



an einander hergleiten, wenn die Metallstäbe sich ungleich ausdehnen; da sie aber an der Berührungslinie eingetheilt sind, und zwar so, daß die Theilung des einen einen Nonius für den anderen bildet, daß also etwa 19 Thle. der einen Theilung gleich 20 Abtheilungen der anderen sind, so kann man mit Hülfe dieses Nonius sehr genau den Unterschied der Ausdehnung der beiden Metallstäbe ablesen und daraus die Temperatur berechnen.

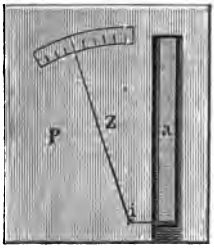
In der Regel wendet man aber auch hier eine Hebel- und Räderübersetzung an, um die verschiedene Ausdehnung deutlicher sichtbar zu machen. Guyton de Morveau [3]) legte (1803) bei seinem Pyrometer eine Stange von Platin *a*

---

[1]) Dingl. *1862, 166, 144; vergl. 1828, 27, *272. — [2]) Biot, Traité de physique 1816, 1, *159; Dingl. 1824, 13, 252. — [3]) Essay de Pyrometrie Paris *1808); Annal. de chim. 46, 276; Dingl. 1832, 43, 190.

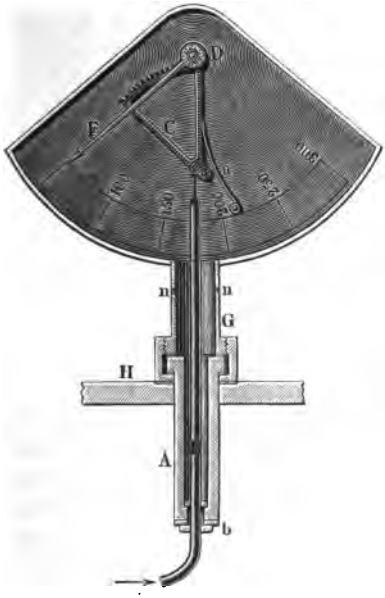
(Fig. 8) in den Ausschnitt einer Porcellanplatte *P*. Der Unterschied in der Ausdehnung beider wirkte auf den kürzeren Arm des um den Zapfen *i* drehbaren Hebels, mit welchem der Zeiger *Z* verbunden war. Aehnlich war das Pyrometer von Brogniart, während Daniell[1]) einen dünnen Platinstab in eine Röhre aus Graphit und Thon einschloß und die Ausdehnung auf einen Hebel mit Noniustheilung übertrug.

Fig. 8.



Buffius[2]) giebt folgendes Thermometer für erhitzten Wind bei Hochöfen u. dergl. an. Der gut gebrannte Chamottecylinder *A* (Fig. 9) ist im Boden durchbohrt, um die Metallröhre *B* durchstecken zu können und sie dann durch die Mutter *b* damit zu verbinden. Das untere Ende derselben ist der Richtung des Windes entgegengesetzt, während die Spitze der Röhre den Zahnbogen *C* bei ihrer Ausdehnung in Bewegung setzt, dieser wieder das kleine Zahnrad *D*, auf dessen Welle der Zeiger *F* befestigt ist. Beim Erkalten drückt die kleine Feder *a* diese Vorrichtung in ihre frühere Lage zurück. Um eine zu große Erhitzung der Luft im Gehäuse *G* zu verhüten, ist dasselbe bei *n* durchbrochen, außerdem von dem Cylinder *A* und dem Düsenständer *H* durch Filzscheiben isolirt. Gibbon[3]) verwendet zu gleichem Zweck zwei Stäbe aus Eisen und Kupfer, deren verschiedene Ausdehnung auf einen Hebel übertragen wird.

Fig. 9.



Petersen[4]) verwendet zur Bestimmung hoher Temperaturen einen in ein eisernes Rohr eingeschlossenen starken Platindraht, dessen Ausdehnung auf einen Hebel übertragen wird, Oechsle[5]) befestigte dagegen in einem eisernen Rohre einen massiven Kupferdraht, dessen freies Ende mittels Hebel und Zahnrad auf einen Zeiger wirkte; später nahm er statt des Kupferdrahtes eine dünnwandige Messingröhre. Sehr ähnlich ist das

---

[1]) Dingl. 1828, **29**, *416; 1832, **43**, *189; **46**, 174, 241. — [2]) Dingl. 1862, **164**, *107. — [3]) Dingl. 1838, **68**, *436; 1877, **225**, 273. — [4]) Gehler's Physik. Wörterb. **7**, *994. — [5]) Dingl. 1861, **160**, *112; 1870, **196**, *218.

Pyrometer von Gauntlett und Desbordes [1]). Es besteht aus einer metallenen Hülse *A* (Figuren 10 und 11) mit gläsernem Zifferblatt, welches durch einen Ring festgehalten wird. Sie wird von einem hohlen metallenen Fuße *B* getragen, der auf einer Platte *E* ruht. Die Röhre *D* aus Schmiedeisen ist oben mit dem Fuße *B* fest verbunden, unten aber durch die Kapsel *b* mit dem inneren Kupferrohr *C*, welches sich im Uebrigen frei in dem Eisenrohre bewegen kann. Da das Eisenrohr beim Erwärmen sich weniger ausdehnt, als das innere Kupferrohr, so hebt dieses die Haube *a*, welche durch die Stange *n* mit dem Gabelstücke *d* verbunden ist. Dieses sitzt mittels des Bolzens *e* an einem Zahnsegmente *f*, welches in ein kleines Getriebe *h* eingreift und somit auf den an dessen Achse befindlichen Zeiger *l* einwirkt. Die auf den Stift *i* wirkende Feder *o* führt beim Erkalten

Fig. 10.

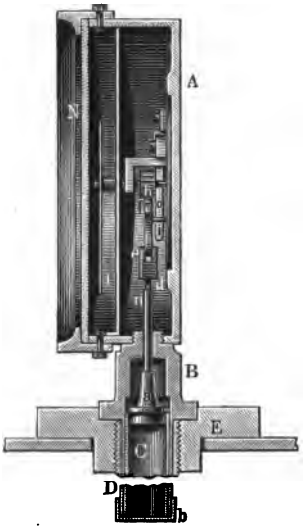
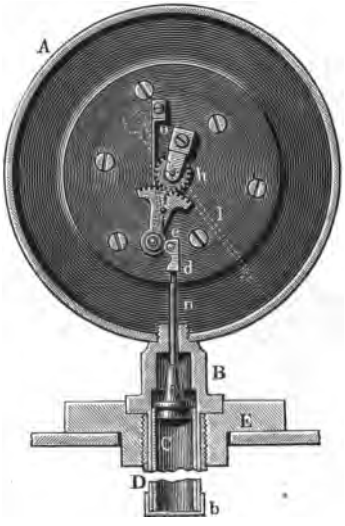


Fig. 11.



den Zeiger in seine frühere Lage zurück. Bock [2]) verwendet in ähnlicher Weise ein in einem eisernen Rahmen befestigtes Messingstäbchen, Heseler [3]) für niedere Temperaturen Stahl und Zink. Bei Lion und Guichard [4]) umschließt ein kupfernes Rohr *A* (Fig. 12 u. 13) zwei Stangen *B* und *C*, die eine von Kupfer, die andere von Eisen, welche unten an dem Cylinder *D* festgelöthet sind, während an die oberen Enden bei *E* und *F* ein Hebel *G* befestigt ist, der auf einer Seite die kleine Lagerpfanne *H* trägt. Das Rohr *A* ist mittels der Mutter *J* an eine Platte *I* festgeschraubt, von der sich die beiden Säulen *K* und *L* erheben, um die Achse *M* zu tragen. An diese Achse ist ein kleines trichterförmiges Lager *N* befestigt,

---

[1]) Dingl. 1875, **144**, *26; 1861, **160**, 393; 1860, **157**, *279. — [2]) Dingl. 1870, **195**, *312. — [3]) Dingl. 1875, **216**, *398. — [4]) Dingl. 1876, **220**, *37.

welches mit der Lagerpfanne *H* durch eine Stange verbunden ist; eine Drahtfeder *X* hält diese Theile *N* und *H* in ihrem richtigen Abstande. Ein an der Achse *M* befindlicher Hebel *P* ist mit der gebogenen Stange *Q* verbunden, welche in die zwischen zwei Trägern *S* und *T* gelagerte Schraube *R* eingreift und diese beim Senken oder Heben der Vorrichtung entsprechend dreht. Die Achse der Schraube ist zugleich die des die Temperatur angebenden Zeigers. Eine besondere an dem Träger *S* befestigte Feder führt die Schraube wieder in ihre ursprüngliche Lage zu-

Fig. 12.

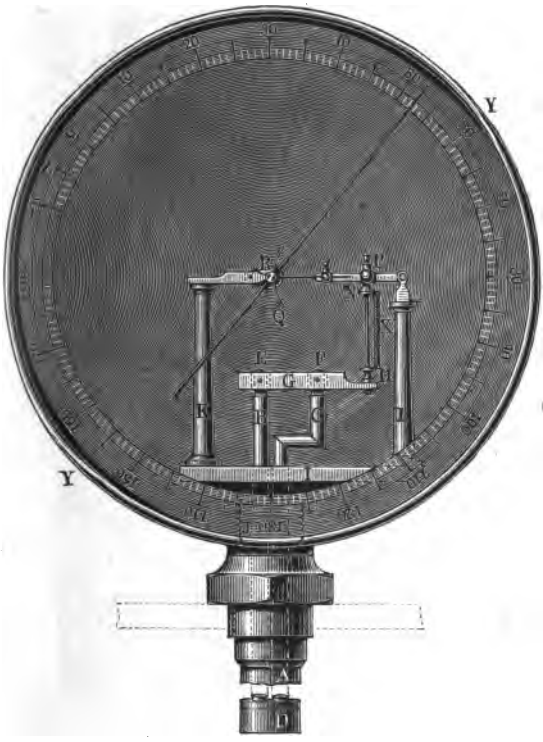
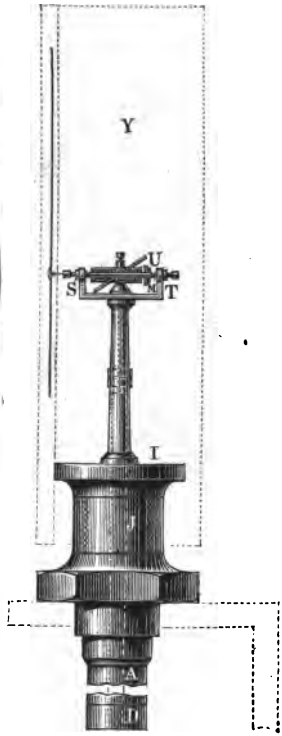


Fig. 13.



rück. Die ganze Vorrichtung ist in ein Gehäuse *Y* eingeschlossen, welches ein in Centigrade getheiltes Zifferblatt *Z* umfaßt.

Für Temperaturen, welche 300° übersteigen, werden die Apparate mit beweglichem Zifferblatt hergestellt, damit sie nach jedesmaligem Gebrauch wieder richtig eingestellt werden können.

Das Pyrometer von Zabel [1]) beruht auf der ungleichen Ausdehnung zweier Metallstäbe. In dem geschlossenen Schutzrohre *a* (Fig. 14, a. f. S.), welches

[1]) Dingl. 1878, 230, *320.

in den Körper *b* eingeschraubt ist, befindet sich ein Messingrohr, für höhere Temperaturen bis 900° ein Kupferrohr *c*. Dieses ist im Körper befestigt und trägt an seinem oberen Ende die Werkplatten eines Fühlhebelapparates. In dem Rohre *c* befindet sich ein zweites Rohr *d* aus gleichem Metall, welches an seinem unteren Ende ein Stahlrohr *e* trägt und an seinem oberen mit dem Fühlhebel

Fig. 14.

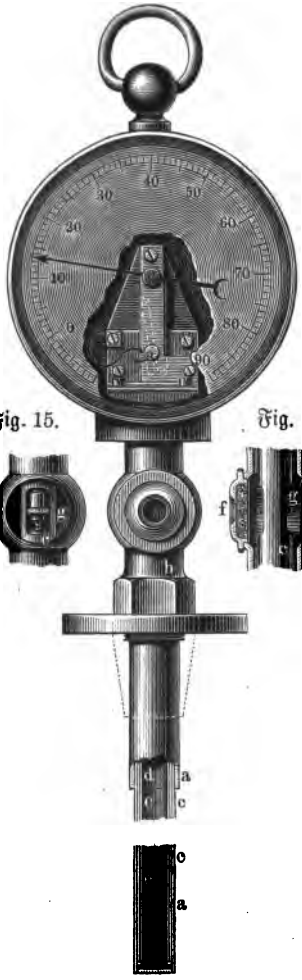


Fig. 15.

Fig. 16.

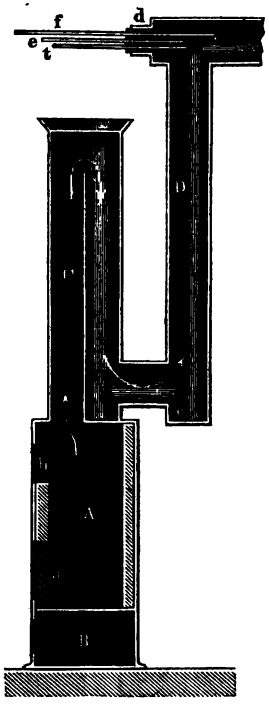
Fig. 17.

verbunden ist. Das Stahlrohr *e* ist unten mit dem Messingrohre *c* verschraubt. Taucht man nun den Schaft des Instrumentes, d. h. den Theil von Flansche, Conus oder Gewindezapfen abwärts, in die Flüssigkeit oder Feuerluft, deren Temperatur gemessen werden soll, so erwärmen und dehnen sich die Rohre *c* und *d* gleichmäßig, da dieselben aus gleichem Metall bestehen; nur das Stahlrohr *e* dehnt sich weniger aus.

Dieſer Unterſchied in der Ausdehnung wird durch das Fühlhebelwerk, welches in der Abbildung durch das auf dem Zifferblatt herausgeſchnittene Stück ſichtbar iſt, auf den Zeiger übertragen, welcher die betreffende Temperatur auf der Scala anzeigt.

Damit zur gleichmäßigeren Erwärmung der Rohre die erhitzte Luft in den Rohren circuliren und austreten kann, iſt der Körper mit zwei Oeffnungen verſehen, welche mit einer eigenthümlichen Filtrirvorrichtung *f* (Fig. 16), beſtehend aus zwei Drahtſieben mit zwiſchengelegtem Schwamme, zugeſchraubt ſind, damit auch in feuchten oder ſtaubigen Räumen mit dem Inſtrument gearbeitet werden kann. Die Einſtellung der Scala geſchieht nach dem Abſchrauben der erwähnten Filtervorrichtung mittels der gezahnten Scheibe *g* (Fig. 15).

Fig. 18.



· Steinle und Hartung in Quedlinburg verfertigen Graphitpyrometer. Das geſchloſſene Schutzrohr *a* (Fig. 17) trägt auf ſeinem oberen Ende die Büchſe *b* mit der Scala und iſt an ſeinem unteren Ende bei *u* mit dem ſiebartig durchlöcherten Rohre *c* verbunden. Letzteres trägt auf ſeinem Kopfe, der bei *k* eine gute Führung im Schutzrohr *a* erhält, das Zeigerwerk, welches durch das ebenfalls durchlöcherte Rohr *d* in Verbindung mit dem Graphitſtab *g* ſteht. Sobald das Rohr in Folge äußerer Temperatureinflüſſe ſeine Länge verändert, wird der Graphitſtab und durch Vermittelung des Rohres *d* auch der Zeiger in Bewegung geſetzt. Das Schutzrohr *a* kann ſeine Länge beliebig verändern, ohne auf das Zeigerwerk irgend welchen Einfluß zu üben, während die Rohre *c* und *d*, da ſie durchlöchert und von einer großen Luftſchicht umſpült ſind, immer gleiche Temperaturen und darum auch gleiche Längen behalten ſollen. Die Einſtellung geſchieht nach dem Löſen der Schraube *s* mittels eines eingeſteckten Schlüſſels durch entſprechendes Drehen des Zeigers.

Der Güte der genannten Firma verdanke ich ein ſehr gut gearbeitetes Graphitpyrometer, welches ich mehrfach mit dem Siemens'ſchen elektriſchen Pyrometer (S. 49) und meinem kleinen Calorimeter (S. 64), für niedere Temperaturen mit einem Geißler'ſchen Queckſilber-Normalthermometer mit Stickſtofffüllung verglichen habe. Die Apparate wurden unmittelbar neben einander in einen eigens für derartige Zwecke vorgerichteten Ofen gebracht (Fig. 18 zeigt den Durchſchnitt deſſelben in $^1/_{20}$ nat. Größe), in dem ſtatt der Thür *b* eine gut ſchließende Blechſcheibe mit den genau ſchließenden Apparaten eingeſetzt wurde. Der 0,5 m hohe Feuerraum *A* iſt mit feuerfeſten Steinen ausgeſetzt; die Thüren zu der mit einer ſchrägen Raſt verſehenen Schüröffnung *a* und die zum Aſchenfall *B* ſind

mit einer Verschraubung versehen. Die Rauchgase gehen in der Pfeilrichtung durch den Aufsatz *C* und entweichen durch das Blechrohr *D* zum Schornstein. In dem Rohransatz *d* ist mittels eines gut schließenden Korkes das Thermometer *t* (Geißler'sches mit Stickstofffüllung), das zum Zugmesser führende Rohr *e* und das mit dem Apparat zur Untersuchung der Rauchgase verbundene Glasrohr *f* befestigt. Sämmtliche Fugen am Ofen sind mit einem Gemisch von Wasserglas, Asbest und Thon sorgfältig gedichtet. Durch die vielen Biegungen werden die Rauchgase völlig gemischt; gleichzeitig bei *c* und *d* genommene Gasproben hatten bis auf 0,1 Proc. genau dieselbe Zusammensetzung.

Während bei 150° die Temperaturangaben der Thermometer von Siemens (S. 49), Geißler (mit Stickstofffüllung) sowie Steinle u. Hartung[1]) sehr gut stimmten, gab eine der Versuchsreihen mit höheren Temperaturen z. B. folgendes Resultat:

Zeit		Steinle und Hartung	Siemens	F. Fischer	Geißler	Zeit		Steinle und Hartung	Siemens	Fischer	Geißler
Uhr	Min.					Uhr	Min.				
8	40	843	751	754	—	2	25	945	696	—	—
9	0	910	837	—	—	2	30	945	766	741	—
9	15	862	778	761	—	2	35	939	796	—	—
9	20	860	750	—	—	2	40	928	798	788	—
9	23	858	751	—	—	2	50	850	732	—	—
9	27	852	747	—	—	2	55	820	705	—	—
9	30	848	744	730	—	3	5	788	664	—	—
9	40	810	710	697	—	3	10	768	651	—	—
10	0	670	585	—	—	3	15	730	633	—	—
10	10	581	502	—	—	3	25	700	609	—	—
10	14	560	495	482	—	4	10	438	284	—	285
10	20	511	449	440	—	4	15	405	261	—	256
10	35	312	308	—	304	4	25	320	212	—	208
10	40	294	290	—	287	4	30	228	142	—	138
2	5*	68	—	—	16	4	50	223	118	—	117
							**	88	17	—	16

* Im Zimmer. ** Am anderen Morgen.

Eine spätere Versuchsreihe, bei welcher der Ofen mit Piesberger Anthracit geheizt wurde, gab bei gleichzeitiger Untersuchung der Rauchgase folgendes Ergebniß:

[1]) Ein während des Druckes erhaltenes Graphitpyrometer ist nach vorläufigen Versuchen erheblich besser als das frühere.

Zeit Uhr	Min.	Kohlensäure	Sauerstoff	Stickstoff	Zugstärke mm	Abgangsgase Temperatur	Ofentemperatur Steinle und Hartung	Siemens	Fischer	Bemerkungen
	10	9,3	11,1	79,6	5	184°				11 Uhr 40 Min. aufgeworfen.
	20	10,2	10,1	79,1		214				Aschenthür wenig geöffnet.
	30	11,2	9,2	79,6		219				Ofen in der Mitte rothglühend.
	45	10,9	9,5	79,6		225	860	992	981	
1	—	10,7	9,8	79,5	5,3	228	850	959	948	Starker Südwind, Temp. 8°.
2	—	8,3	12,0	79,7	5—6	207	710	949	926	Dann frisch aufgeworfen.
	15	9,2	11,4	79,4		162				Thaupunkt 12°.
	30	10,3	10,0	79,7		202				
	45	11,7	8,7	79,6		228	700	845	826	10 l enthielten 64 mg SO_2 und
3	—	13,6	6,7	79,7	6	234	750	820	809	[12 mg SO_3.
	15	12,8	7,5	79,7		241	909	800	797	
	30	12,1	8,3	79,6		237	830	766	748	
	45	11,8	8,8	79,4		234	838	713	700	
4	—	11,7	8,8	79,5		230	848	739	730	12 l enthielten 49 mg SO_2 und
	15	11,2	9,3	79,5		226	820	731	719	[10 mg SO_3.
	30	10,9	9,7	79,4	6	221	807	722		Temp. im Laboratorium 24°.
	45	11,0	9,6	79,4		219	789	708	699	
5	—	10,5	10,0	79,5		218				
	30	10,4	10,3	79,3		216	762	691	683	
6	—	9,1	11,6	79,3		202	703	624	615	Thaupunkt 14°.

Das Pyrometer von Steinle und Hartung ist offenbar nach einem Quecksilberthermometer eingetheilt, ohne Rücksicht darauf, daß die Ausdehnung des Eisens in höheren Hitzegraden jedenfalls verhältnißmäßig viel größer ist. Daher werden die Abweichungen auch um so größer, je höher die Temperatur. Dieser Fehler läßt sich wohl durch eine passende Eintheilung künftig vermeiden. Große Temperaturschwankungen erträgt es aber nicht, wie die letzte Versuchsreihe zeigt. Langsam erwärmt stellt es sich etwas günstiger; in einem Ultramarinofen zeigte es z. B. am zweiten Tage 740°, während das Calorimeter (S. 64) 676° gab.

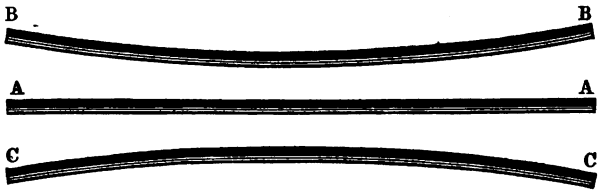
Diese Versuche zeigen, daß es wohl kaum gelingen wird, jemals ein zuverlässiges Metallpyrometer für hohe Temperaturen zu erhalten, da sich fast nach jeder Erhitzung der Molecularzustand der Metalle ändert, wenn auch die Volumänderung von Stäben aus Metallen, welche regulär krystallisiren, regelmäßiger

ist, als das der übrigen Metalle[1]). Jedenfalls aber muß ein Metallthermometer nach jedem Gebrauch genau wieder eingestellt werden können. Daß übrigens Pyrometer mit zwei verschiedenen Metallen noch weniger genau sind als solche mit einem Metall und einem so wenig veränderlichen Körper wie Graphit, liegt auf der Hand. Dem entsprechend mußte auch Weinhold[2]) mit den Pyrometern von Gauntlett und Bock für hohe Temperaturen ungenügende Resultate erhalten.

W. Maier[3]) in Ulm hat ein Pyrometer construirt, welches aus einem eisernen Rohre besteht, in dessen Achse sich eine Welle leicht bewegt. Um diese Welle ist ein Metallstab (ob aus einem oder zwei Metallen ist nicht gesagt) spiralförmig gewickelt, von welchem das eine Ende am Rohr, das andere an dieser Welle befestigt ist. Durch die Erwärmung und Abkühlung dreht sich die Spirale auf und zu und bewirkt dadurch eine Drehung der Welle, welche auf einem Zifferblatt mittels eines Zeigers ohne alle Uebertragungsmittel sichtbar gemacht ist. Eine bleibende Ausdehnung des Metallstabes soll bei dem von Maier angewendeten Metall bis 450° nicht stattfinden; hat sie aber dennoch stattgefunden, so läßt sich das Pyrometer angeblich leicht wieder richtig stellen.

Wenn man bei mittlerer Temperatur zwei gleich lange Streifen von Metallen auf einander nietet oder löthet, welche ungleiche Ausdehnungscoefficienten haben, z. B. Kupfer und Eisen, so muß sich der Streifen bei jeder Temperaturveränderung krümmen, wie dieses Fig. 19 andeutet, und zwar so, daß das stärker sich ausdehnende Metall nach außen gekehrt ist, wie bei *B B*, wenn die Temperatur steigt,

Fig. 19.



während es die innere Seite des Bogens bildet, wenn die Temperatur abnimmt, wie bei *C C*.

Bei dem Metallthermometer von Stöhrer[4]) ist ein Zinkstreifen *a b* (Fig. 20) auf den Stahlstreifen *c d* aufgelöthet und beide sind mit ihrem unteren Ende in das Metallstück *n* fest eingelassen, während im Uebrigen der ganze Doppelstreifen sich frei bewegen kann. Bei steigender Temperatur krümmt er sich in der Art, daß sein oberes Ende nach der rechten Seite hingeht, was mittels einer feinen Kette auch die Drehung der Scheibe *s* und des Zeigers *t* nach derselben Seite zur Folge hat. Bei sinkender Temperatur wird das Scheibchen *s* sammt dem

---

[1]) Jahresber. d. Chem. 1869, 83. — [2]) Dingl. 1873, 208, 125. — [3]) Dingl. 1878, 230, 320. — [4]) Müller, Lehrbuch d. Physik, Bd. 2, *638.

Zeiger *t* durch die Spiralfeder *o* wieder zurückgezogen. Die Grade werden durch Vergleichung mit einem anderen Thermometer aufgetragen.

Derartige Thermometer, mögen sie nun aus zwei verschiedenen Metallen oder aus einem Metall und Hartgummi und dergleichen [1]) hergestellt sein, lassen sich leicht zu sogenannten Controlthermometern einrichten. Will man z. B. in einem Zimmer nur zwischen 15 und 20° Wärme haben, so verbindet man zwei Stifte auf dem 15. und 20. Grade mit den gleichartigen Polen zweier Batterien, die den Metallzeiger *t* tragende Scheibe *s* aber mit den anderen Polen; es wird dann eines der beiden eingeschalteten Läutewerke in Gang gesetzt werden, sobald der Zeiger einen der beiden Stifte berührt.

Auf demselben Princip beruht das Zimmerthermometer von Steinhauser [2]) und das Taschenthermometer von Wrench [3]). Jurgensen [4]) schlug dagegen vor, ein genaues Chronometer mit entsprechendem Compensationspendel zu Temperaturbestimmungen zu benutzen.

Bei dem sogenannten Quadrantenthermometer, Fig. 21, ist der Compensationsstreifen *fgh* aus Stahl und (innen) Kupfer bei *f* befestigt. Bei wachsender

Fig. 20.

Fig. 21.

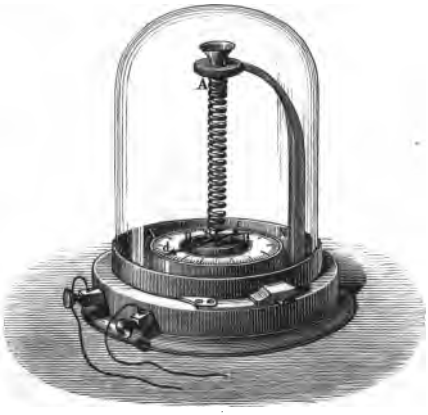
Temperatur streckt sich der Streifen etwas, das freie Ende *h* bewegt sich nach außen und zieht das untere Ende des um *o* drehbaren Hebels *aob* nach links, indem

[1]) Dingl. 1877, 225, 274. — [2]) Dingl. 1876, 221, *527. — [3]) Dingl. 1831, 41, *102. — [4]) Dingl. 1836, 62, 486; 1841, 82, 72.

der bei *h* befestigte stählerne Haken *t* bei *p* gegen eine Hervorragung des Hebels drückt. Durch diese Drehung des Hebels wird der gezahnte Bogen *c d* nach rechts gedreht, der Zeiger *z* in Folge dessen in der Richtung von *f* nach *g*. Bei abnehmender Temperatur bewirkt die Spiralfeder *s* eine Drehung in entgegengesetzter Richtung.

Bei Breguet's Thermometer [1]) sind drei Metallstreifen, Silber, Gold und Platin, so auf einander gelöthet, daß sich das Gold zwischen dem stärker ausdehnbaren Silber und dem weniger ausdehnbaren Platin befindet. Die zusammengelötheten Metallstreifen sind dann zu einem sehr dünnen Bande ausgewalzt. Das schraubenförmige Band wird nun mit dem einen Ende bei *A* (Fig. 22) befestigt, an das untere Ende *B* aber wird eine leichte Nadel *c d* angehängt, deren Spitze *d* sich über einen getheilten Kreis hinbewegen kann. Jede Temperaturveränderung bewirkt nun in Folge der ungleichen Ausdehnung der Metalle des Spiralbandes, daß sich dasselbe mehr auf- oder zuwindet, wodurch dann die Nadel *c d* um einen entsprechenden Winkel gedreht wird. Die Theilung des Kreises, über welche sich die Nadelspitze *d* hinbewegt, wird durch Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer hergestellt. Das Quecksilbergefäß *H* und die Klemmschrauben an dem abgebildeten Apparate sind für die Bestimmung der Wärmeentwickelung schwacher elektrischer Ströme bestimmt.

Fig. 22.



Clement [2]) verwendet für sein Pyrometer eine kurze Spirale aus Platin und Silber, Oechsle [3]) für seine verschiedenen Wärmemesser Spiralen aus Eisen und Messing, später ebenfalls aus Platin und Silber, Hipp [4]) für sein elektromagnetisches Registrirthermometer Stahl und Messing.

Um von Gewächshäusern, Trockenräumen, Wohnzimmern und dergleichen Räumen aus, deren Temperatur nur wenig schwankt, auf größere Entfernung hin ein etwaiges Ueberschreiten des zulässigen höchsten oder niedrigsten Wärmegrades elektromagnetisch anzuzeigen, sind derartige aus zwei zusammengelötheten Metallstreifen gebildete Thermometer sehr wohl brauchbar, nur müssen sie von Zeit zu Zeit nach einem Quecksilberthermometer neu eingestellt werden. Daß derartige Apparate aber für höhere Temperaturen völlig unbrauchbar sind, fand schon Prinsep [5]); wahrscheinlich bilden sich an der Berührungsstelle der Metalle

---

[1]) Annal. de chim. phys. 5, 312; Dingl. 1824, 13, 250; 1860, 156, 26. — [2]) Dingl. 1843, 88, *241. — [3]) Dingl. 1836, 60, 191; 1870, 195, 313; 1871, 200, *21. — [4]) Dingl. 1863, 168, *241. — [5]) Dingl. 1828, 28, 421.

Legirungen, welche die ſchon an ſich ungleichartige Ausdehnung jedes einzelnen Metalles beim ſtarken Erhitzen nur noch unregelmäßiger macht. Weinhold[1]) fand dem entſprechend, daß das Spiralpyrometer von Oechsle völlig unbrauchbar war, ich ſelbſt habe die gleiche Erfahrung mit einer Spirale von Eiſen und Kupfer gemacht.

Fig. 24.

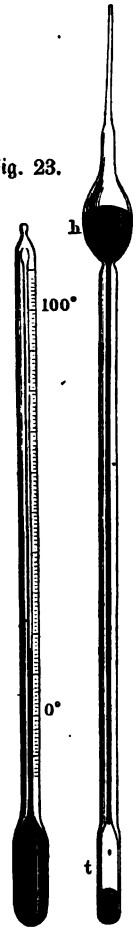


Fig. 23.

Von allen flüſſigen Körpern für Thermometer iſt das Queckſilber weitaus der wichtigſte.

Zur Herſtellung[2]) eines Thermometers wird an eine enge, der ganzen Länge nach gleichweite Glasröhre ein kugelförmiges oder cylindriſches Gefäß *t* angeblaſen, oben aber ein weiteres mit einem Röhrchen endigendes Gefäß *h* angeſetzt. Durch Erwärmen von *t* und *h* wird nun die Luft ausgedehnt, darauf die offene Spitze von *h* in Queckſilber getaucht, welches beim Abkühlen in das Gefäß angeſogen wird. Dann wird die Vorrichtung wieder in aufrechte Stellung gebracht, *t* abermals erwärmt, ſo daß die Luft theilweiſe entweicht, beim Abkühlen aber eine entſprechende Menge Queckſilber aus *h* nach *t* übertritt. Schließlich wird der kleine Behälter *t* ſo weit erwärmt, daß das darin enthaltene Queckſilber ſiedet und ſo die letzte Luft austreibt, worauf ſich beim Erkalten *t* nebſt dem Rohr völlig mit Queckſilber füllt. Das Queckſilbergefäß wird dann noch etwas höher erhitzt, als die Temperatur beträgt, welcher das Thermometer ſpäter ausgeſetzt werden ſoll, dann wird das Rohr oben zugeſchmolzen, während es noch völlig mit Queckſilber angefüllt iſt. (Fig. 23 und 24.)

Während ſomit dieſe Thermometer luftleer ſind, ſchloß Geißler in Bonn in dieſelben Stickſtoff ein, um bei der Beſtimmung hoher Temperaturen das Deſtilliren des Queckſilbers in den oberen Theil des Thermometers zu verhüten. Die Thermometer ſind empfehlenswerth, geſtatten allerdings nicht die Correction mit abgeriſſenem Queckſilberfaden.

Um das Queckſilberthermometer auch für Temperaturen bis 450° verwenden zu können, ſchlägt Perſon[3]) vor, über dem Queckſilber Luft von 4 Atmoſphären Druck einzuſchließen[4]).

---

[1]) Progr. d. Gewerbſch. Chemnitz 1873, 25. — [2]) Ueber die Herſtellung der Queckſilberthermometer vergl. Körner: Anleitung zur Verfertigung übereinſtimmender Thermometer (Jena 1824); Lutz: Anweiſung Thermometer zu verfertigen (Nürnberg 1834); Dingl. 1850, 117, 86; 1851, 122, 317; 1853, 128, 461; 1878, 230, 192. — [3]) Compt. rend. 19, 758. — [4]) Achard (Annal. chim. phys. III, 68, 52) will Metallegirungen in Porzellangefäßen von der Form gewöhnlicher Queckſilberthermo-

Um dem Thermometer die in Fig. 23 (a. v. S.) angedeutete Eintheilung zu geben, sind zunächst die beiden festen Punkte zu bestimmen [1]). Zu diesem Zweck setzt man das Quecksilbergefäß und die Röhre, soweit das Quecksilber etwa bei 0^0 reichen wird, wie Fig. 25 andeutet, in fein zerstoßenes reines Eis oder auf reinen Flächen gesammelten Schnee. Ist so der Nullpunkt gefunden und bezeichnet, so befestigt man das Thermometer mittels eines Korkes, wie Fig. 26 zeigt, in einem langhalsigen Gefäß, in welchem destillirtes Wasser zum Sieden erhitzt wird, während der Dampf durch die Seitenöffnungen entweicht. Um etwaige

Fig. 25.

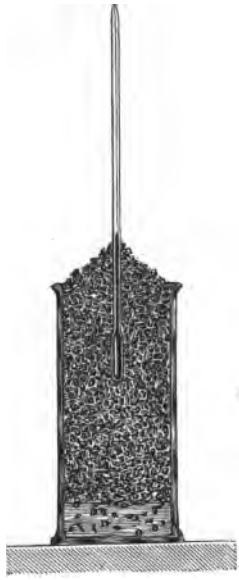
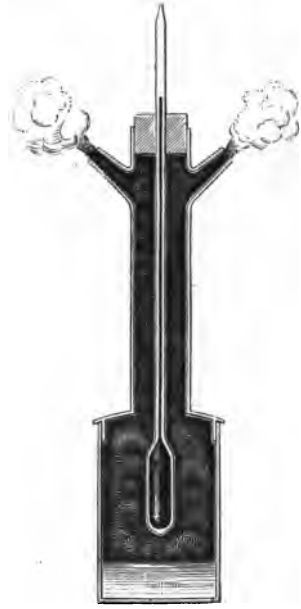


Fig. 26.



Ausstrahlung zu verhüten, kann man den in Fig. 28 abgebildeten Apparat verwenden, während der in Fig. 27 dargestellte den Vorzug hat, daß er leicht zusammenzustellen ist, und daß die ganze Quecksilbersäule sich im Dampfe befindet, während man bei den anderen Apparaten für genaue Bestimmung eine entsprechende Correction für den überstehenden Quecksilberfaden anbringen muß. Ist bei dieser Bestimmung der Barometerstand nicht genau 760 mm, so ist zu berücksichtigen,

meter benutzen. Von anderer Seite (Dingl. 1829, 32, S. *355) wurde vorgeschlagen, in einer Kugelröhre aus Porcellan eine Legirung von Kupfer mit Zinn, die nach dem Wedgwood'schen Pyrometer bei 0^0 schmilzt, der zu messenden Temperatur auszusetzen; die Ausdehnung derselben wurde mittels einer in der Röhre luftdicht beweglichen Platinscheibe auf einen Zeiger übertragen. Der Apparat ist offenbar unbrauchbar.

[1]) Ueber die Bestimmung der festen Punkte vergl. namentlich Egen (Poggendorff's Annal. 9, 349; 11, 234 u. 517; 13, 33); Rudberg (daselbst 40, *60 und 572).

daß dann das Wasser nicht bei 100° siedet, sondern bei der in nachfolgender Tabelle (a. f. S.) angegebenen.

Sind so die festen Punkte bestimmt, so wird die Theilung direct auf das Glasrohr aufgetragen oder auf eine Porzellanplatte, welche mit dem Thermometer-

Fig. 27.

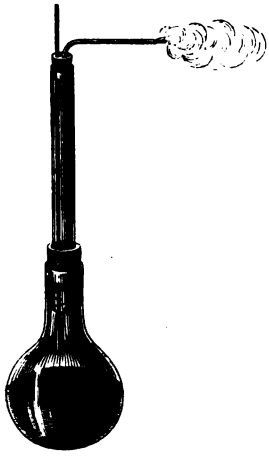
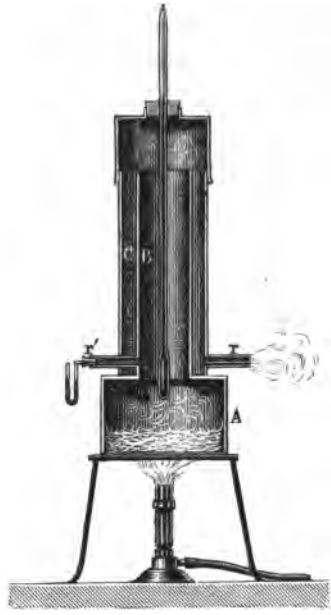


Fig. 28.



rohr zusammen in ein weiteres Rohr eingeschmolzen, bei gewöhnlichen Thermometern auch wohl durch eine Papierscala ersetzt wird.

Man wird nun wohl kaum je in die Lage kommen, sich selbst ein Quecksilberthermometer anfertigen zu müssen, wohl aber muß es sich Jeder, der genaue Versuche anstellen will, zur Regel machen, zunächst die Thermometer auf ihre Richtigkeit zu prüfen, um so mehr sich, wahrscheinlich in Folge des äußeren Luftdruckes, der Nullpunkt mit der Zeit ändert. Man bestimmt nun den Nullpunkt und Siedepunkt in der eben angegebenen Weise. Sodann sucht man durch Schütteln einen Quecksilberfaden von der Masse loszulösen und bestimmt durch Neigen des Thermometers die Anzahl der Theilstriche, welche er in verschiedenen Lagen einnimmt. Hat man z. B. für ein Thermometer den Eispunkt beim Theilstrich 0,6 (welches wir mit 0,6 *p* bezeichnen wollen), den Siedepunkt des Wassers für 760 mm bei 100,3 *p* gefunden, so trennt man eine Quecksilbersäule von nahezu 50° Länge ab und bringt sie allmälig mit ihrem unteren Ende genau auf 0,50 *p*, 100 *p* u. s. w. Man habe nun beobachtet, daß dabei eingenommen werden die Theile

von	0 *p*	50	100	150	200	250	300
bis	50,9 *p*	100,4	150,3	200,0	249,6	299,7	350,1

Siedetemperatur des Wassers.

Barometer mm	Siede-temperatur	Barometer mm	Siede-temperatur	Barometer mm	Siede-temperatur
720	98,49°	740	99,26°	760	100,00°
721	98,53	741	99,29	761	100,04
722	98,57	742	99,33	762	100,07
723	98,61	743	99,37	763	100,11
724	98,65	744	99,41	764	100,15
725	98,69	745	99,44	765	100,18
726	98,72	746	99,48	766	100,22
727	98,76	747	99,52	767	100,26
728	98,80	748	99,56	768	100,29
729	98,84	749	99,59	769	100,33
730	98,88	750	99,63	770	100,36
731	98,92	751	99,67	771	100,40
732	98,95	752	99,70	772	100,44
733	98,99	753	99,74	773	100,47
734	99,03	754	99,78	774	100,51
735	99,07	755	99,82	775	100,55
736	99,11	756	99,85	776	100,58
737	99,14	757	99,89	777	100,62
738	99,18	758	99,93	778	100,65
739	99,22	759	99,96	779	100,69

Indem man überall 0,9 abzieht, welche kleine Größe von allen Theilen der Röhre als gleich betrachtet werden kann, so findet man, daß einander gleich sind die Volumina

von	0	50	100	150	200	250	300
bis	50,0	99,5	149,4	199,1	248,7	298,8	349,2

Bezeichnen wir nun den mittleren Volumwerth eines Theiles zwischen 0 und 50 mit v, so ist also das Volumen von $0p$ bis $99{,}5p = 100v$, und da nach der Eis- und Siedepunktsbestimmung $0{,}6p$ bis $100{,}3p = 100$ Grade oder auch $0p$ bis $99{,}7p = 100$, also $0p$ bis $99{,}5p = 99{,}8$ Grade, so ist $100v = 99{,}8$ Grade und $v = 0{,}998$ Grade. Mit Hülfe dieser Angaben findet man leicht:

Von	bis	v	Von 0 p bis	v		Grade
0	50	50,0	50 p	50,0	=	49,9
50	100	50,5	100	100,5	=	100,3
100	150	50,6	150	151,1	=	150,8
150	200	50,9	200	202,0	=	201,6
200	250	51,3	250	253,3	=	252,8
250	300	51,2	300	304,5	=	303,9
300	350	50,8	350	355,3	=	354,6

Da nun dem Theilstrich + 0,6 die Temperatur 0, somit dem Theilstrich 0 die Temperatur — 0,6 Grade entspricht, so erhält man für das Thermometer folgende Correctionstabelle:

Theilstrich	Temperatur	Correction der Ablesung
0	0,6°	— 0,6
50	49,3	— 0,7
100	99,7	— 0,3
150	150,2	+ 0,2
200	201,0	+ 1,0
250	252,2	+ 2,2
300	303,3	+ 3,3
350	354,0	+ 4,0

Für einen zwischenliegenden Theilstrich findet man die Correction durch Interpolation aus der letzten Spalte [1]).

Da, wie namentlich Magnus [2]) und Regnault [3]) nachgewiesen haben, wegen der von einander abweichenden Ausdehnung verschiedener Glassorten, die von den Quecksilberthermometern angegebenen Temperaturen keineswegs immer übereinstimmen, so ist es dringend zu empfehlen, die für genaue Versuche bestimmten Quecksilberthermometer zunächst mit einem Luftthermometer (S. 36) zu vergleichen.

---

[1]) Vergl. F. Kohlrausch: Praktische Physik (Leipzig 1870); Bessel in Poggendorff's Annal. 6, 287; Oettingen: Correction der Thermometer (Dorpat 1865). Marek, Carl's Repert. 1879, 300, 677, 770. — [2]) Poggendorff's Ann. 57, 177. — [3]) Mémoir. de l'Acad. 21, 226; Dingl. 1870, 195, 57.

Thermometercorrection für den herausragenden Faden. Ist bei Temperaturbestimmungen der Quecksilberfaden nicht völlig der zu messenden Wärme ausgesetzt, so wird das Thermometer die richtige Temperatur nicht angeben. Bezeichnen wir nun die zu bestimmende Temperatur mit T, die mittlere Temperatur des hervorragenden Fadens mit τ, die Länge desselben mit l, so würde der Faden, wenn er ganz der zu messenden Temperatur ausgesetzt wäre, im Verhältniß $1 : 1 + \alpha (T - \tau)$ länger sein, wenn mit α der Ausdehnungscoefficient des Quecksilbers im Glase bezeichnet wird. Anstatt der Länge l würde also die Länge $l + l\alpha (T - \tau)$ sein, oder die Anzahl der Grade, welche auf die Längeneinheit gehen, gleich v gesetzt, so würde anstatt vl in Thermometergraden die Länge des Fadens $vl + vl\alpha (T - \tau)$ sein, oder das Thermometer würde, $vl = n$ gesetzt, um $n . \alpha (T - \tau)$ höher zeigen. Liest man also am Thermometer die Temperatur t ab, so ist die wirkliche Temperatur des betreffenden Raumes $T = t + n . \alpha (T - \tau)$ oder $= \frac{t - n\alpha\tau}{1 - n\alpha}$. Der mittlere Ausdehnungscoefficient des Quecksilbers zwischen 0 und 100° zu 0,000181, der des Glases zu 0,000026 angenommen, wird $\alpha = 0{,}000155$. Die mittlere Temperatur τ des Fadens wird meist so bestimmt, daß man ein kleines Thermometer in der Nähe der Fadenmitte neben das in seiner Angabe zu corrigirende Thermometer hängt und die an jenem abgelesene Temperatur der Luft als den Werth von τ annimmt. Wegen der Leitungsfähigkeit des Quecksilberfadens ist der so bestimmte Werth von τ aber zu klein, der damit berechnete Werth von T daher zu groß. Für kürzere Quecksilberfäden setzt man zur Ausgleichung dieses Fehlers nach Holtzmann für α nur 0,000135 ein, für lange Fäden wird man bei wissenschaftlich genauen Versuchen nach der von Wüllner [1]) angegebenen Methode den Werth für τ für jedes Thermometer besonders bestimmen.

Bestimmung der Lufttemperatur. Von den Anwendungen des einfachen Thermometers ist die Bestimmung der Lufttemperatur besonders wichtig.

Der Physiker bezeichnet der mechanischen Wärmetheorie entsprechend die Temperatur eines Gases als lebendige Kraft der als Wärme aufgefaßten unsichtbaren Bewegungen der Molecüle derselben. Concreter aufgefaßt, ist Temperatur einer bestimmten Menge trocknen Gases die Größe, welche bei freier Expansion desselben neben dem äußeren Druck den Volum- und Dichtigkeitszustand desselben nach dem Dalton-Gay-Lussac'schen Gesetz bedingt, oder bei constantem Volum des Gases dem letzteren zufolge die Spannkraft desselben verändert. Abgesehen von gewissen Correctionen ist daher beim Lufthermometer die gehobene Quecksilbersäule im offenen Schenkel ein genaues Maß der Temperatur des im Gefäß bis zur Marke eingeschlossenen, auf constantem Volum erhaltenen Gases. In der Meteorologie hat man dem entsprechend unter der Temperatur der freien Luft nur die Größe zu verstehen, welche, abgesehen von beigemengtem Wasserdampf, Kohlendioxyd und dergleichen, allein neben dem äußeren Druck die jeweilige Dichtigkeit

---

[1]) Wüllner, Lehre von der Wärme (Leipzig 1871, S. 296).

derselben bedingt. Die Dichtigkeit der Luft unter Berücksichtigung der Druck- und Zusammensetzungsverhältnisse derselben wird also hier als Maß ihrer Temperatur dienen können.

Das Luftthermometer läßt nun zwar mit Sicherheit die Temperatur der in sein Gefäß eingeschlossenen Luft messen; man würde aber, wie H. Wild [1]) ausführt, im Allgemeinen sehr irren, wenn man annehmen wollte, daß dasselbe zugleich auch die Temperatur der freien das Gefäß umgebenden Luft anzeige. Die festen Substanzen, welche bei allen Thermometern, sei es, wie hier, als Gefäß zur Aufnahme der durch die Wärme sich ausdehnenden gasförmigen oder tropfbaren Flüssigkeit, sei es direct, wie bei den Metallthermometern, thermo-elektrischen Ketten oder den elektrischen Widerstandsthermometern, zur Anwendung kommen, besitzen alle ein viel größeres Absorptions- und Ausstrahlungsvermögen für die Wärmestrahlen, als die Luft, und, da sich jeder Körper durch gegenseitige Wärmestrahlung mit seiner ganzen Umgebung in Beziehung setzt, so kann es sehr leicht geschehen, daß der in die Luft eingetauchte thermometrische Körper in Folge dieser Verschiedenheit der Strahlung eine ganz andere Temperatur als jene hat.

Das einzige Mittel, die Temperatur der Luft frei von dieser Fehlerquelle zu bestimmen, besteht darin, ihre Dichtigkeit zu messen. Der Gewichtsverlust in Milligramm, welchen ein am einen Arm einer Wage angehängter Glasballon vom äußeren Volum V Liter in gewöhnlicher, Kohlensäure haltiger, feuchter Luft an einem H Meter über dem Meer und unter der Breite φ gelegenen Orte erleidet, ist gegeben durch:

$$G = V \frac{h - 0{,}378\, h'}{760\,(1 + 0{,}003665\, t)}\,(1293{,}03 - 3{,}32\, \cos 2\varphi - 0{,}00027\, H),$$

wo h der auf 0^0 reducirte Barometerstand, h' die absolute Feuchtigkeit der Luft, beide in Millimeter, und t die gesuchte Temperatur der vom Glasballon verdrängten Luft ist.

Da die Ausdehnung der Luft etwa 100 Mal so groß ist als die des Glases, so zeigt t die Temperatur der umgebenden Luft unabhängig von der etwa durch Strahlungseinflüsse geänderten eigenen Temperatur des Glasballon. Letztere beeinflußt nur das Volum V und kann leicht für sich bestimmt und in Rechnung gebracht werden. Setzt man nun $h = 760$ mm, $\varphi = 45^0$, $H = 0$ und $V = 10$ l, so ergiebt sich $G = \frac{1 - 0{,}000497\, h'}{1 + 0{,}003665\, t}\, 12\,930$ mg. Hieraus folgt durch Differentiation mit genügender Annäherung: $dG = 12\,930 \times 0{,}000497\, dh'$ und $dG = 12\,930 \times 0{,}003665\, dt$.

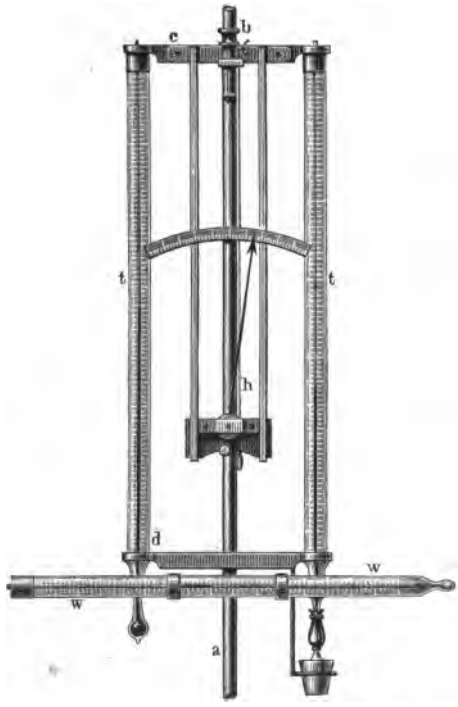
Wenn also die Genauigkeit der Gewichtsbestimmung $dG = \pm 1$mg ist, so wird man bei der Bestimmung der absoluten Feuchtigkeit einen entsprechenden Fehler $dh' = \pm 0{,}16$ mm begehen dürfen und die Temperatur der Luft mit einer Sicherheit von $dt = \pm 0{,}021^0$ erhalten, da alle übrigen Größen [2]) des obigen

---

[1]) Dingl. 1879, 233, *400. — [2]) Wegen des wechselnden Sauerstoffgehaltes der Luft sind diese nicht so einfach zu bestimmen.

Ausdruckes mit großer Genauigkeit zu bestimmen sind. Das größte Hinderniß für die Ausführung dieser Methode der Temperaturbestimmung bildet jedenfalls die Bestimmung der absoluten Feuchtigkeit h', die beim gegenwärtigen Zustand der Hygrometrie kaum mit einer Sicherheit von $\pm$ 0,16 mm zu erzielen ist. Aber auch dann, wenn diese Schwierigkeit überwunden sein wird, werden die schwierigen Operationen, welche diese Methode erfordert, nur eine Verwerthung derselben bei vereinzelten Fundamentalunterſuchungen gestatten.

Fig. 29.



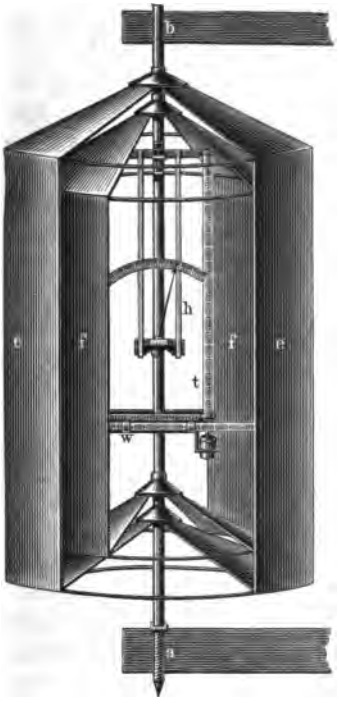
Für gewöhnlich wird man daher doch Thermometer zur Bestimmung der Lufttemperatur verwenden müssen. Um nun den störenden Einfluß der Sonnenstrahlen, sowie der Ausstrahlung gegen den kalten Weltraum und den festen Erdboden zu vemeiden, empfiehlt H. Wild an einem unten mit einer Schraube versehenen runden Eisenstabe *ab* (Figuren 29 und 30) mittels der beiden verschiebbaren Querstücke *c* und *d* die zwei Psychrometerthermometer *t*, das Haarhygrometer *h* und das Weingeist-Minimumthermometer *w* zu befestigen. Nach außen werden diese Instrumente von den zwei halb offenen Zinkblechcylindern *e* und *f* mit conischem Dach und nach innen zu ansteigendem conischen Boden umhüllt. Um bequem ablesen zu können, wird der äußere kreisförmige Cylinder *e* so gedreht, daß seine gegenüberliegenden Oeffnungen sich mit denen des inneren elliptischen Cylinders *f* decken, wie Fig. 30 zeigt, während sie in der übrigen Zeit zur Abhaltung der Strahlung so gestellt werden, daß die Oeffnungen des inneren durch die Wände des äußeren Cylinders verdeckt sind; dasselbe ist dann auch der Fall mit den entsprechenden Oeffnungen des conischen Daches und Bodens. Durch die breiten Zwischenräume zwischen den Cylindern sowohl an den Seitenwänden wie im Dach und Boden ist auch bei dieser Stellung für genügend freien Luftwechsel gesorgt. Das Gehäuse wird vor einem nach Norden gewendeten Fenster befestigt, oder in einer besonderen Holzhütte aufgestellt.

Nach den Versuchen von H. Wild erhält man mit diesem Thermometergehäuse die wahre Lufttemperatur mit einer Sicherheit von mindestens $\pm$ 0,1°;

ja selbst die relative Feuchtigkeit der Luft wird, wenn man außer der Temperatur auch diese bestimmen will, durch diese Vorrichtung im Durchschnitt bis auf 3 Proc. genau angegeben gegenüber einem frei aufgestellten Psychrometer. —

Zur Bestimmung der Temperatur der abziehenden Rauchgase von Dampfkesselfeuerungen und dergleichen verwende ich 0,7 m lange Quecksilberthermometer, bei denen die Gradeintheilung mit dem Nullpunkt erst 0,4 m vom unteren Ende anfängt. Dasselbe wird dann durch ein enges Loch im Mauerwerk direct in den Fuchs eingeführt und oben entsprechend abgedichtet. Man kann so die Schwankungen der Temperatur genau verfolgen, ohne das Thermometer herausziehen zu müssen.

Fig. 30.



Um die höchste und niedrigste Temperatur während eines gewissen Zeitraumes zu bestimmen ist noch heute das Thermograph von Rutherford[1]) (vergl. S. 4) vielfach im Gebrauch, welches aus zwei wagrecht angeordneten Thermometern besteht. Das Maximumthermometer ist ein Quecksilberthermometer, in dessen Röhre vor dem Quecksilber ein Eisenstäbchen liegt. Bei steigender Temperatur wird dieses Stäbchen vom Quecksilber vorgeschoben, bleibt aber beim Fallen liegen, giebt somit die höchste Temperatur an; durch Schütteln oder mittels eines Magneten kann es wieder an das Quecksilber zurückgeführt werden. Das Minimumthermometer ist mit Weingeist gefüllt, in welchem ein kleines Glasstäbchen liegt, das beim Sinken der Temperatur von dem Weingeist mitgenommen wird, beim Steigen aber liegen bleibt, somit die niedrigste Temperatur anzeigt. Walferdin[2]) hat ein Minimumthermometer angegeben, aus welchem beim Erwärmen eine entsprechende Quecksilbermenge austritt. Henneffy[3]) verbindet ein Quecksilberthermometer mit einer Vorrichtung, welche die Schwankungen der Temperatur selbstthätig aufzeichnet. Besonders eingehend bespricht Wildt[4]) derartige selbstregistrirende Thermometer.

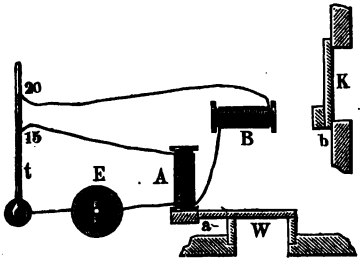
Um auch auf größere Entfernungen hin sofort erkennen zu können, ob in einem Zimmer, einem Trockenraume und dergleichen die Temperatur die zulässige höchste oder niedrigste Temperatur überschreitet, kann man, wie dieses u. A.

---

[1]) Gilbert's Ann. 17; vergl. Dingl. 1868, 188, 500. — [2]) Dingl. 1836, 61, 317. — [3]) Dingl. 1846, 99, *38. — [4]) Wildt, Die selbstregistrirenden Instrumente (München 1866). Müller, Kosmische Physik (Braunschweig 1872), S. 433.

Morin [1]) und Kohlfürst [2]) vorgeschlagen haben, Leitungsdrähte für einen galvanischen Strom einschmelzen, und zwar einen in die Thermometerkugel, den anderen bei dem höchsten und niedrigsten Punkt, so daß ein eingeschaltetes Läutewerk ein entsprechendes Signal giebt (vergl. S. 16). F. Kohlrausch [3]) macht den Vorschlag, ein solches Thermometer zur Selbstregulirung der Temperatur überall da zu benutzen, wo Luftheizung eingerichtet ist. Soll z. B. die Temperatur zwischen 15° und 20° gehalten werden, so werden in das Quecksilberthermometer *t* (Fig. 31) drei Leitungsdrähte eingeschmolzen, welche zu dem constanten galvanischen Elemente *E* und den beiden Elektromagneten *A* und *B* führen, denen die entsprechenden Anker *a* und *b* gegenüberstehen. Steht die Temperatur, wie dieses die schematische Figur andeutet, zwischen 15° und 20°, so ist sowohl die Oeffnung *W* für warme Luft, als die für kalte Luft *K* durch die mit den Ankern *a* und *b* verbundenen Klappen geschlossen. Sinkt die Temperatur unter 15°, so wird der Strom unterbrochen, der Elektromagnet *A* läßt den Anker *a* los, so daß die Klappe sich von der warme Luft zuführenden Oeffnung *W* hebt. Steigt dagegen die Temperatur über 20°, so bleibt *W* geschlossen, durch Schließung der zweiten Leitung wird aber der Anker *b* angezogen, so daß nun durch die Oeffnung *K* kalte Luft eintreten kann. — Denselben Gedanken verfolgt Symonds (D. R. P. 7198) bei seiner elektrisch selbstthätigen Ventilationsvorrichtung.

Fig. 31.

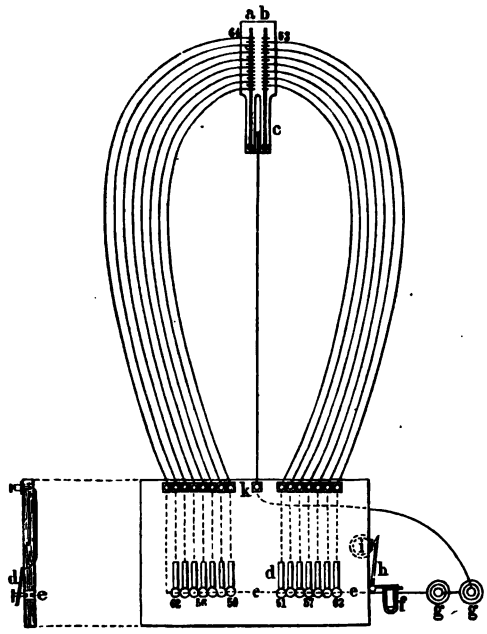


Folgende Vorrichtung von A. Eichhorn (D. R. P. Nr. 6937) soll auf größere Entfernungen hin die Temperatur genau angeben. Die beiden Thermometer *a* und *b* (Fig. 32) haben in dem Theile der Scalen, innerhalb welchem die dem beabsichtigten Zweck entsprechende Temperatur wechseln kann, eingeschmolzene Platindrähte für eine Darre z. B. zwischen 50 und 64°. Das Thermometer *a* zeigt die Platindrähte eingeschmolzen bei 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62, 64°, das Thermometer *b* bei 51, 53, 55, 57, 59, 61 und 63°. Außerdem ist unterhalb der Scalen noch ein Draht *c* eingeschmolzen, welcher mit dem Quecksilber der Thermometer immer in Berührung bleibt. Sämmtliche Drähte führen nach den Klemmschrauben eines Brettes, auf welchem Tasten *d* angebracht und auf deren Knöpfe die Zahlen aufgetragen sind, welche den Graden entsprechen, mit denen sie in metallisch leitender Verbindung stehen. Der nebenstehende Durchschnitt durch das Brett zeigt die leitende Verbindung von den Klemmschrauben nach den Tasten *d*, welche ähnlich wie Federn oder in beliebiger anderer Weise angeordnet sein können. Ein Draht *e* ist quer unter die Tasten hinweggeführt und kann mit diesen durch Niederdrücken derselben in leitende Verbindung gebracht werden. Derselbe geht über einen Elektromagneten *f* nach den Elementen *g g*. Ein Win-

[1]) Compt. rend. 1864, 59, 1082. — [2]) Dingl. 1874, 213, *390; Pogg. Ann. 125, 626. — [3]) Dingl. 1865, 175, *389.

kelhebel *h* wird durch den Elektromagneten *f* bei Schließung des Stromes aus den Zähnen des Rades *i* eines beliebigen Klingelwerkes ausgerückt und dieses dadurch in Thätigkeit gesetzt. Vom Platindraht *c* der beiden Thermometer führt die Leitung nach der Klemmschraube *k* und von da nach dem Element *g*. Hieraus geht hervor, daß die Leitungen an zwei Stellen unterbrochen sein können, erstens an den in den Scalen eingeschmolzenen Platindrähten, wenn die Quecksilbersäule im Thermometer noch nicht bis zu denselben gestiegen ist, und zweitens an den Tasten.

Fig. 32.



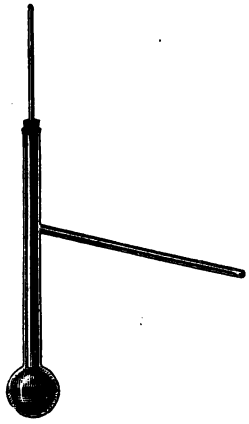
Angenommen, die Temperatur stehe auf 57,5° und der Heizer will den Stand des Thermometers vom Feuerungsraume aus erkennen, so drückt er der Reihe nach von links nach rechts die Tasten nieder. Die Tasten 62, 60 und 58 werden die Schließung des Stromes noch nicht vermitteln; sowie aber die Taste 56 niedergedrückt wird, schließt sich der von den Elementen *g* ausgehende Strom, was sich durch Auslösen des Klingelwerkes zu erkennen giebt. Der Heizer weiß nun, daß das Quecksilber zwischen 56 und 58 steht. Um die Höhe nun noch genauer zu bestimmen, braucht er nur von den ungeradzahligen Tasten, welche rechts auf dem Brette angeordnet sind, die mit 57 bezeichnete niederzudrücken. Dieselbe wird bei dem hier angenommenen Stand von über 57° angeben, d. h. das Läutewerk wird wiederum in Thätigkeit kommen.

Der Platindraht, welcher bei 64° in der Scala eingeschmolzen ist, ist nicht mit einer Taste *d*, sondern direct mit dem Draht *e* verbunden. Die Leitung ist also hier nur einmal und zwar in der Thermometerröhre unterbrochen. Steigt das Quecksilber bis zur Maximaltemperatur (im vorliegenden Fall ist 64° dafür angenommen worden), so circulirt der Strom vom Element *g* über die Klemme *k* durch die Quecksilbersäule des Thermometers *a*, den Platindraht 64 und seine Leitung, Draht *e* und Elektromagnet *f*. Dieser löst wieder den Winkelhebel *h* aus, und der durch ein beliebiges Uhrwerk getriebene Klingelapparat arbeitet so lange, bis die Maximaltemperatur wieder gesunken ist. Die Maximaltemperatur zeigt sich also stets selbstthätig und die selbstthätige Anzeige einer Minimaltemperatur läßt sich durch ähnliche Anordnung erreichen.

Soll die Temperatur einer Flüssigkeit bestimmt werden, so ist zunächst für eine gute Durchmischung zu sorgen. Ein praktisches Thermometer zur Bestimmung der Meerestemperatur in beliebigen Tiefen haben Negretti und Zambra[1]) angegeben.

Schmelzpunktbestimmung. Zur Bestimmung des Schmelzpunktes saugt man den geschmolzenen Körper in Haarröhrchen auf, läßt völlig erstarren, was oft mehrere Tage erfordert, und verbindet das Röhrchen mittelst eines Stückchen Gummischlauches mit dem Quecksilbergefäß eines Thermometers. Nun taucht man diese Vorrichtung in ein Becherglas mit Wasser oder Paraffin, erwärmt langsam unter fortwährendem Umrühren mit dem Thermometer und beobachtet die Temperatur, bei welcher der Körper durchsichtig wird. Um speciell den Schmelzpunkt der Fette zu bestimmen, überzieht Pohl[2]) die Thermometerkugel mit Fett, taucht in langsam erwärmtes Wasser und nimmt die Temperatur als Schmelzpunkt an, bei welcher sich das Fett ablöst. Bouis[3]) senkt ein an beiden Seiten offenes Röhrchen mit Fett in Wasser und beobachtet die Temperatur, bei welcher das geschmolzene Fett von dem Wasser nach oben getrieben wird. Wimmel[4]) zeigt, daß einige Fette erst mehrere Grade über ihren Schmelzpunkt durchsichtig werden, daß demnach die genannten Schmelzpunktbestimmungen keine übereinstimmenden Resultate geben. Rüdorff[5]) senkt das Thermometer in das Fett selbst und bezeichnet als Schmelzpunkt diejenige Temperatur, bei welcher Wärme latent wird und als Erstarrungspunkt die höchste Temperatur, bei welcher die latente Wärme frei wird. Löwe[6]) taucht einen mit dem zu untersuchenden Fett überzogenen dicken Platindraht in das langsam erwärmte Quecksilberbad, welches mit dem positiven Pole eines galvanischen Elementes verbunden ist, während der Platindraht mit dem negativen Pole in leitender Verbindung steht. Sobald das Fett schmilzt, wird es nach oben getrieben, dadurch die leitende Verbindung hergestellt, und durch den Strom eine Glocke in Bewegung gesetzt. Wolf[7]) zeigt, daß dieses Verfahren bei Anwendung eines feinen Platindrahtes sehr genaue Resultate giebt.

Fig. 33.

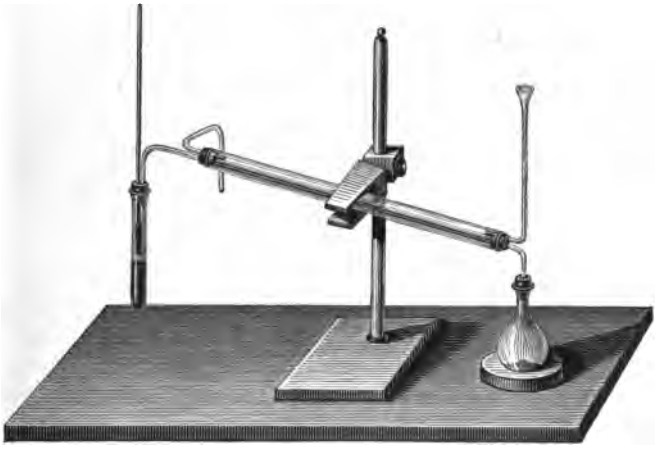


Bestimmung des Siedepunktes von Flüssigkeiten. Man kann zu diesem Zweck den in Fig. 27, S. 19 abgebildeten Apparat verwenden. Stehen nur geringe Flüssigkeitsmengen zu Gebote, so nimmt man statt dessen den in

[1]) Dingl. 1878, 203, *33; 1879, 232, *416. — [2]) Dingl. 1855, 135, 141. — [3]) Annal. Ch. Pharm. 44, 152. — [4]) Dingl. 1868, 188, 421; 1871, 200, 494. — [5]) Dingl. 1870, 198, 531. — [6]) Dingl. 1871, 201, *250. — [7]) Dingl. 1875, 217, 411; 1876, 220, *529.

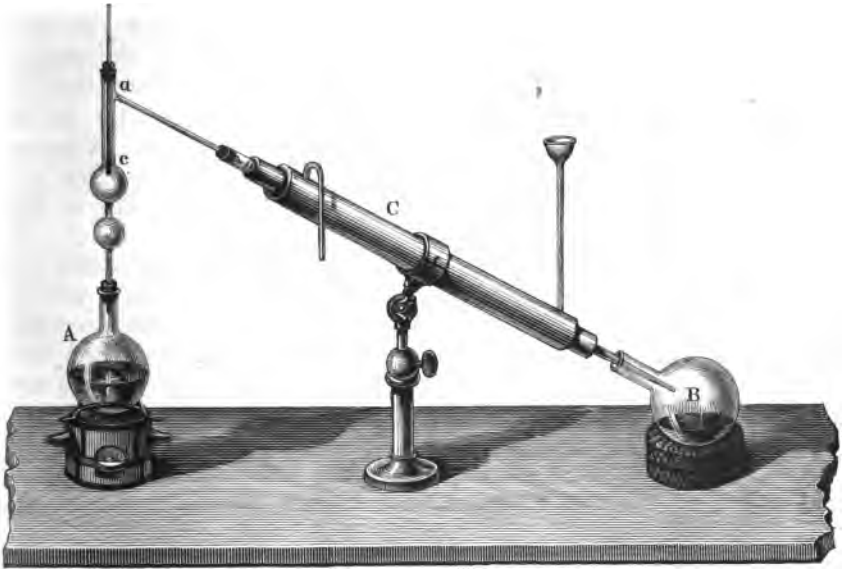
Fig. 33 dargestellten kleinen Glasapparat, der, wenn man die Flüssigkeit wiedergewinnen will, mit einem kleinen Kühler verbunden wird, wie Fig. 34 zeigt;

Fig. 34.



das hier angewendete Reagensgläschen ist weniger empfehlenswerth, weil hier das Thermometer nicht so tief in den Dampf eintaucht, als dort (S. 22).

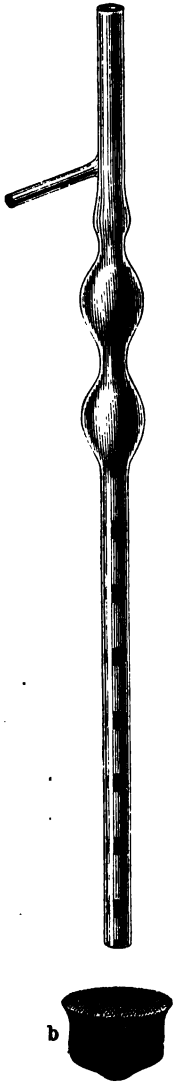
Fig. 35.



Will man bei Flüssigkeitsgemischen, z. B. Erdöl, gleichzeitig bestimmen, wie viel dasselbe von den bei der betreffenden Temperatur übergehenden Bestandtheilen

enthält, so setzt man nach dem Vorschlage von Wurtz auf die das Gemisch enthaltende Kochflasche *A* (Fig. 35, a. v. S.) einen Röhrenaufsatz *a c* mit zwei oder mehreren kugelförmigen Erweiterungen, so daß die schwerer flüchtigen Bestandtheile in den Kolben zurückfließen, während sich nur die flüchtigeren Antheile in der Vorlage *B* sammeln.

Fig. 36.



Noch vollständiger gelingt die Trennung, wenn man nach dem Vorschlage von Linnemann[1]) in die Glasröhre, in welcher die Dämpfe aufsteigen, eine Anzahl kleiner Näpfchen von Platingewebe *b* einsetzt, wie Fig. 36 zeigt.

Drehthermometer. Fig. 37 stellt das Thermometer von Kuntze[2]) in der Vorderansicht, Fig. 38 im Verticaldurchschnitt dar, welches in ähnlicher Weise, wie dieses bereits Mageough[3]) und Bertora[4]) ausführten, die Ausdehnung des Quecksilbers beim Erwärmen durch Schwerpunktsverschiebung mißt, und zwar unter Anwendung einer um eine Horizontalachse drehbaren scheibenförmigen Kapsel. Diese Kapsel besteht aus zwei Theilen *A* und *B* und schließt zwei concentrische Hohlräume ein, den scheibenförmigen Raum *C* und den ringförmigen Canal *D* (Fig. 38 und 39), welch letzterer durch eine beim Verschrauben der beiden Hälften *A* und *B* hineingepreßte Kautschukscheidewand *d f* (Fig. 39) unterbrochen ist. Dicht neben dieser Scheidewand befindet sich auf der einen Seite eine Oeffnung *d'*, welche den Ringcanal mit dem Hohlraum *C*, und auf der anderen Seite eine Oeffnung *f'*, welche ihn mit der äußeren Luft in Verbindung setzt.

Die ganze Anordnung ist, wie die Skizze (Fig. 40) näher veranschaulicht, dem Wesen nach nichts anderes, als ein um seine Achse drehbares cylindrisches Gefäß *C* mit einer aus demselben tretenden, an ihrem Ende offenen concentrischen Röhre *D*. Durch Hebung oder Senkung des Gegengewichtes *q* mittels der Mikrometerschraube *m* kann die Kapsel auf die stabile oder labile Gleichgewichtslage eingestellt werden. Nachdem bei einer gewissen Temperatur der ganze Raum *C* und der halbe Ringcanal *D* mit Quecksilber gefüllt worden ist, so wird das System bei dieser Temperatur im Gleichgewichte beharren, bei jeder Temperatur-

[1]) Annal. Ch. Pharm. 160, *195. — [2]) Dingl. 1879, 233, *121. — [3]) Dingl. 1828, 28, 485. — [4]) Dingl. 1869, 192, *202.

steigerung aber im Sinne eines Uhrzeigers, bei jeder Temperaturabnahme in entgegengesetzter Richtung sich drehen. Die Größe des Drehungswinkels, welche

Fig. 37.

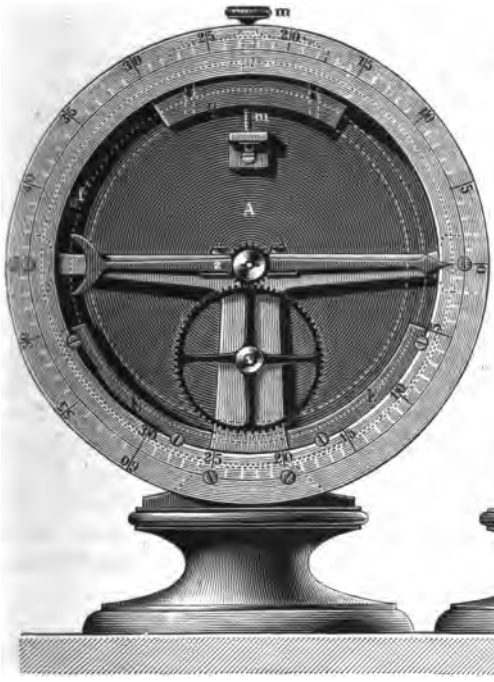
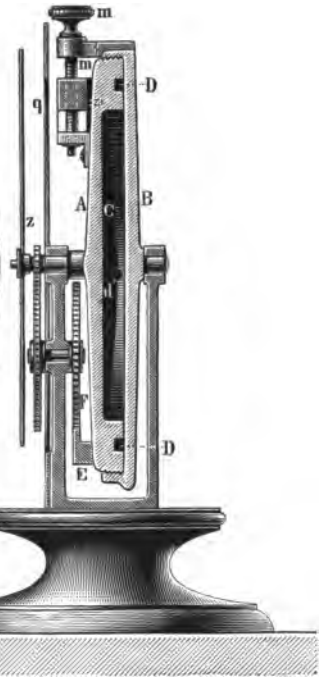


Fig. 38.



von der Schwerpunktslage der Kapsel und von den Dimensionen der Hohlräume abhängt, und mit ihr die Zeigerdrehung, wird dadurch vervielfältigt, daß ein am Umfange der Scheibenkapsel befestigtes Zahnsegment E in ein Rad F greift,

Fig. 39.

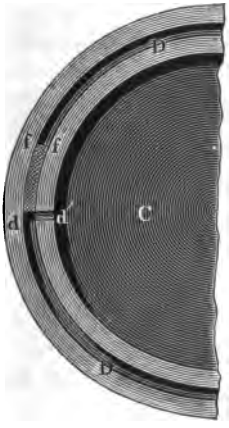
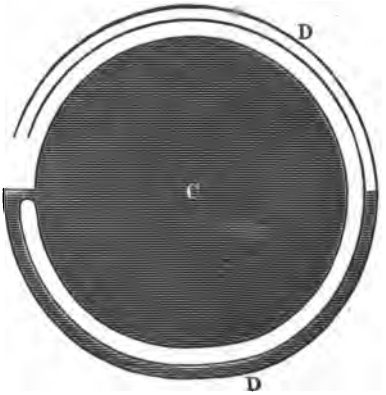


Fig. 40.



welches seine Bewegung auf das Getriebe des über einer thermometrischen Scala laufenden Zeigers z überträgt. So sinnreich derartige Anordnungen auch sind, so wenig werden sie auf irgend welche Verbreitung rechnen dürfen. Dasselbe gilt von dem Registrirthermometer von Mangon [1]).

Gewichtsthermometer. Magnus [2]), Kapeller [3]) und Regnault [4]) haben Thermometer angegeben, bei denen die Temperatur aus der Menge des austretenden Quecksilbers berechnet wird. Hat man z. B. ein Glasgefäß, welches in eine feine, gekrümmte Spitze ausgezogen ist (Fig. 41) mit Quecksilber gefüllt, so fließt beim Erwärmen eine entsprechende Menge Quecksilber heraus, welche genau gewogen die zur Berechnung der Temperatur nöthigen Anhaltspunkte giebt.

Fig. 41.

Regnault [5]) macht den Vorschlag, in eine Flasche aus Platin, Eisen oder Porzellan, von etwa 0,5 bis 1 l Inhalt, 15 bis 20 g Quecksilber zu bringen und nun die Flasche auf die zu messende Temperatur zu erhitzen. Der Quecksilberdampf treibt die Luft aus, so daß man nach dem Herausnehmen und raschen Abkühlen der Flasche aus der Menge des zurückgebliebenen Quecksilbers die Temperatur berechnen kann. Oder aber die Flasche wird mit Wasserstoff gefüllt, dieses dann, wenn die zu messende Temperatur erreicht ist, verdrängt, durch Kupferoxyd verbrannt und das gebildete Wasser gewogen. Deville und Troost [6]) wollen in gleicher Weise ein ähnliches Gefäß mit Joddampf füllen und aus dessen Menge die Temperatur berechnen. Aus leicht erklärlichen Gründen haben diese Vorschläge keinen Beifall gefunden.

Lufthermometer. Hartig [7]) hat bei seinen Verdampfungsversuchen die Temperatur der abziehenden Rauchgase dadurch bestimmt, daß er ein mit Luft gefülltes Rohr der zu messenden Wärme aussetzte, zuschmolz und die Spitze unter Quecksilber öffnete. Die Menge des eindringenden Quecksilbers ergab die Ausdehnung der Luft, aus welcher dann die Temperatur berechnet wurde. Dasselbe Verfahren wurde von Mitscherlich [8]) angewendet.

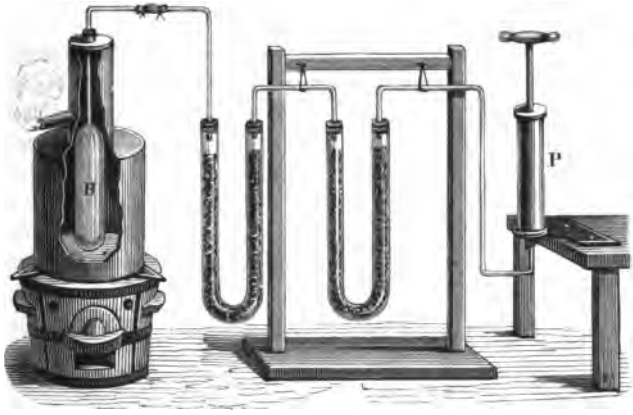
Rudberg und ähnlich Dulong und Petit verbanden das in ein enges Rohr endigende Gefäß B, wie Fig. 42 zeigt, mit Chlorcalciumröhren, pumpten mit der Handluftpumpe P wiederholt die Luft aus und ließen sie durch das Chlorcalcium getrocknet wieder eintreten. Das so mit völlig trockner Luft gefüllte Gefäß B wurde nun in den Raum gebracht, dessen Temperatur bestimmt werden sollte, und, nachdem es die Wärme hier angenommen hatte, wurde die Spitze des damit verbundenen Glasrohres zugeschmolzen. Es wurde dann so durch ein Metallschälchen A (Fig. 43) gesteckt, daß die Spitze in das Quecksilbergefäß C tauchte, diese dann abgebrochen und der Behälter B mit Eis umgeben. Durch Wiegen wurde

---

[1]) Dingl. 1878, 228, 90. — [2]) Pogg. Ann. 40, *139. — [3]) Dingl. 1847, 104, 75. — [4]) Dingl. 1850, 117, 86. — [5]) Dingl. 1850, 117, 86; 1861, 162, *362. — [6]) Annal. chim. phys. III., 68, 257. — [7]) Untersuchung über die Heizkraft der Steinkohlen, S. 18. — [8]) Pogg. Ann. 29, 203.

nun das absolute Gewicht p des eingedrungenen Queckſilbers beſtimmt, deſſen Volumen der beim Erhitzen entwichenen Luft entſprach. Der Behälter wurde darauf

Fig. 42.



völlig mit Queckſilber gefüllt und bei 0° deſſen Gewicht P beſtimmt. Die geſuchte Temperatur findet man aus der Gleichung:

$$PH(1 + kt) = (P - p)(H' - h)(1 + \alpha t),$$

wenn k den Ausdehnungscoefficienten des Glaſes (0,000025), H den Barometerſtand beim Zuſchmelzen, H' den Barometerſtand beim Füllen mit Queckſilber, h den Höhenunterſchied des Queckſilberſpiegels in B und C (Fig. 43) und α den Ausdehnungscoefficienten der atmoſphäriſchen Luft bezeichnet, den wir nach Magnus zu 0,003665 annehmen können.

Fig. 43.

Bei dem Gewichtsthermometer von Davy [1]) wurde durch die ſich ausdehnende Luft Queckſilber verdrängt, ſo daß der Apparat entſprechend leichter wurde. Letztere Apparate bilden den Uebergang zu den Lufthermometern, bei denen die ſcheinbare Ausdehnung der Luft entweder direct gemeſſen, oder aus der Druckveränderung berechnet wird.

Schmidt (1805) verwendete eine Platinkugel mit langem Rohr, welches luftdicht in eine Flaſche mit Waſſer tauchte; die ausgedehnte Luft drückte auf das Waſſer, welches in einer engen Röhre aufſtieg [2]). Pouillet [3]) verwandte ebenfalls ein mit Luft gefülltes Plantigefäß, berechnete aber die Temperatur aus der Luftmenge,

[1]) Dingl. 1832, 46, *249. — [2]) Gehler's Wörterbuch Bd. 7, *997. — [3]) Dingl. 1837, 63, 220; Pogg. Ann. 39, 567; 41, 144.

MIM KAPH MIM LIBRARY
CHEM. BLDG. U. C

welche in ein mit Queckſilber gefülltes Glasrohr überging. Regnault[1]) und Schinz[2]) zeigten bereits, daß dieſes Verfahren für hohe Temperaturen wenigſtens nicht empfindlich genug iſt. Noch weniger empfehlenswerth ſind die Lufthermometer mit verſchiebbarem Queckſilberindex, wie ſie Penot[3]), Gay-Luſſac[4]), Eyk[5]) und Zabel[6]) angegeben haben.

Berthelot[7]) hat ein Lufthermometer angegeben, welches namentlich für Laboratorien brauchbar iſt. Daſſelbe beſteht aus einem kleinen, cylindriſchen, kaum 4 ccm faſſenden Luftbehälter *B* (Fig. 44) aus Glas, Porzellan oder Silber. Derſelbe iſt mit dem 1,2 m langen Capillarrohre *tl* von nur 0,2 mm innerer Weite, von deſſen Gleichmäßigkeit man ſich vorher überzeugt hat, verbunden, welches in das Queckſilbergefäß *Q* endigt. Der horizontale Theil der Capillarröhre wird durch die Hülſe *C* unterſtützt, der ſenkrechte Theil *l* iſt mittels der Plättchen *p* an die hölzerne Rückwand *R* befeſtigt, welche durch den Anſatz *A* von der Säule *T* mit entſprechend ſchwerem Unterſatz *P* getragen wird.

Fig. 44.

Zum Gebrauch wird der Apparat zunächſt in entſprechender Weiſe mit trockner Luft gefüllt (S. 33), dann wird die Kugel *Q* halb mit Queckſilber gefüllt und mit einer Luftpumpe verbunden, mittels der ſo viel Luft ausgepumpt wird, daß, nachdem *B* in Eis geſtellt und *Q* wieder mit der Luft verbunden iſt, das Queckſilber bis zum Nullpunkt aufſteigt, der durch Verſchieben der Scala genau eingeſtellt werden kann. Durch das Einſenken des Thermometergefäßes *B* in Waſſerdampf, Queckſilber- und Schwefeldampf werden dann eine Reihe feſter Punkte gewonnen, nach denen die Scala hergeſtellt wird. Durch entſprechende Abänderung läßt ſich dieſes Lufthermometer leicht für niedrige und hohe Temperaturen einrichten.

---

[1]) Dingl. 1850, **117**, 84. — [2]) Dingl 1865, **177**, *99. — [3]) Dingl. 1831, **40**, *93. — [4]) Dingl. 1833, **48**, *347. — [5]) Dingl. 1862, **166**, *28. — [6]) Dingl. 1870, **195**, *236. — [7]) Dingl. 1868, **188**, *257; 1869, **191**, 455.

Aehnlich ist das von Hallauer[1]) für Dampfkesselfeuerungen verwendete Luftpyrometer, nur nimmt dieser ein mit Stickstoff gefülltes Kupfergefäß. Für derartige Zwecke sind solche Apparate aber sehr wenig geeignet.

Genauer noch ist das Verfahren, die Temperatur aus der Druckzunahme bei unverändertem Volumen zu bestimmen, wie dieses Regnault[2]) u. A. ausführten. Bei dem Apparate von Regnault ist die Luft in einem Glasballon enthalten, der durch eine sehr enge Röhre *Cn* (Fig. 45) mit dem zweischenkligen Manometer *nRq* verbunden ist. Um nun zunächst den Ballon mit trockner Luft zu füllen,

Fig. 45.

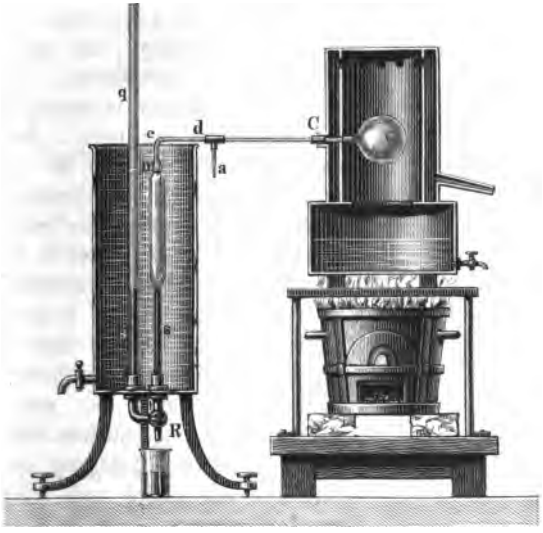


Fig. 46.

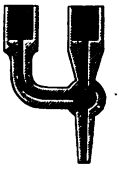


Fig. 47.

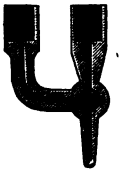
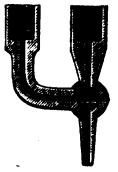


Fig. 48.



wird der Dreiweghahn *R* in die Stellung Fig. 46 gebracht, dann saugt man mittels einer mit dem Röhrchen *a* verbundenen Luftpumpe die Luft aus und läßt durch ein Chlorcalciumrohr wieder Luft eintreten. Ist so der Ballon mit trockner Luft gefüllt, so wird die Kugel mit Eis umgeben und in den offenen Schenkel *q*, nachdem dieser durch die in Fig. 48 angedeutete Stellung des Dreiweghahnes mit dem anderen Schenkel verbunden ist, so lange Quecksilber eingegossen, daß es genau bis zur Marke *n* reicht, worauf das Röhrchen *a* zugeschmolzen wird. Sobald nun der Ballon erwärmt wird, so sucht sich die eingeschlossene Luft auszudehnen, übt dem entsprechend einen Druck auf die Quecksilbersäule aus, so daß man in das Rohr *q* Quecksilber nachgießen muß, um die Luft wieder auf ihr ursprüngliches Raummaß zusammenzupressen. Aus dieser Druckzunahme wird dann die Temperatur in der bekannten Weise berechnet.

---

[1]) Dingl. 1875, 215, *516. — [2]) Dingl. 1850, 117, 84; 1870, 195, 58; vergl. auch Magnus in Pogg. Ann. 55, *9.

Jolly[1]) hat diesen Apparat wesentlich verbessert; die Anordnung seines Luftthermometers ist aus Fig. 49 leicht zu erkennen. Zwei innen gleich weite Glasröhren *a* und *b*, von denen die eine durch die Capillarröhre *n* mit der Glaskugel verbunden ist, stehen mit einander durch die mit Quecksilber gefüllte Kautschukröhre *k* in Verbindung. Durch das Quecksilber ist das in der Kugel, der Capillarröhre und der Glasröhre enthaltene Gas abgesperrt, die andere Röhre ist offen. Beide Röhren sind durch einen Schlitten verschiebbar, der mittels Klemmschraube in beliebiger Höhe festgestellt werden kann. Am oberen Ende der Röhre *b* ist im Innern eine Glasspitze angeschmolzen, wie dieses Fig. 50 deutlicher zeigt. Hat man die Röhre *a* so weit in die Höhe geschoben, daß das Quecksilber in *b* die Glasspitze berührt, so giebt der Höhenunterschied von *a* und *b*, mehr dem am Barometer abzulesenden Luftdruck, den Druck an, unter welchem sich das eingeschlossene Gas befindet. Da eine Erhöhung der Temperatur des Gases auch seine Spannkraft steigert, so muß man dann die Röhre *a* weiter in die Höhe schieben, damit das Quecksilber wieder die Spitze berühre. Die genaue Einstellung wird wesentlich durch die Mikrometerschraube *c* am unteren Ende der Röhre *a* erleichtert. Der Druck, welchen das Gas bei dieser höheren Temperatur besitzt, wird wie im ersteren Falle abgelesen und ist zu diesem Zwecke auf dem Stabe *AB* eine Millimetertheilung auf einem Silberspiegel aufgetragen. Die Röhre *b* ist an ihrem unteren Ende durch eine Ueberwurfschraube mit dem Stahlstück verbunden, an welchem die Kautschukröhre befestigt ist, so daß man sie abschrauben kann, während alles Uebrige ungeändert bleibt. Zur Füllung des Apparates mit

Fig. 49.

[1]) Pogg. Ann., Jubelbd. S. *82.

trockner Luft wird mittels dieser Ueberwurfschraube die Röhre *b* mit einem im Teller der Luftpumpe mündenden Rohr verbunden. Die Kugel wird nun 10 bis 12 mal ausgepumpt und mit Luft gefüllt, die durch Kali von Kohlensäure, durch feste Phosphorsäure von Wasser völlig befreit ist. Mittels des am unteren Ende des Rohres *b* befindlichen Hahnes, den Fig. 51 im vergrößerten Durchschnitt zeigt, wird nach erfolgter Füllung die Röhre abgeschlossen, dann wird sie abgeschraubt und mit der Kautschukröhre verbunden. Nun bringt man durch Aufwärtsschieben der Röhre *a* das Quecksilber bei α zum Ausfluß, dreht, wenn die ersten Tropfen ausgetreten sind, den Hahn um 90° und verbindet so die Röhren *a* und *b*.

Fig. 50.

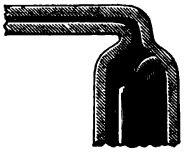
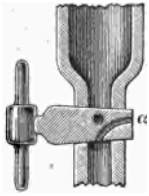


Fig. 51.



Der Apparat ist nun zum Gebrauch fertig. Man bringt die Kugel bis zu einer Marke *n* an der Capillarröhre in zerstoßenes Eis, dann bis zur gleichen Marke in den Raum, dessen Temperatur bestimmt werden soll. Wenn in beiden Fällen das Quecksilber bis zur Berührung der Spitze gebracht war, so erhält man die Spannungen *d* und *D* des abgesperrten trocknen Gases bei der Temperatur Null und der gesuchten Temperatur *T*. Ist vorher das Volumen *V* der Kugel bis zur Marke *n* und das Volumen *v* der Capillarröhre sammt dem der Kuppe mit der Glasspitze vorher bei 0° genau bestimmt, so erhält man nach dem Dalton-Gay-Lussac'schen Gesetz:

$$Vd + \frac{vd}{1 + \alpha t} = VD \cdot \frac{(1 + \gamma T)}{(1 + \alpha T)} + \frac{vD}{1 + \alpha t_1},$$

wo α den Ausdehnungscoefficienten der Luft, γ den des Glases [1]), t die Temperatur der Capillarröhre bei der Bestimmung des Druckes *d*, t_1 dieselbe bei der Bestimmung des Druckes *D*, *T* die Temperatur des Gases der Kugel unter dem Drucke *D* bezeichnet. Aus obiger Gleichung erhält man nun die gesuchte Temperatur:

$$T = \frac{D - d + \frac{v}{V}\left(\frac{D}{1 + \alpha t_1} - \frac{d}{1 + \alpha t}\right)}{\alpha\left[d - \frac{v}{V}\left(\frac{D}{1 + \alpha t_1} - \frac{d}{1 + \alpha t}\right)\right] - \gamma D}.$$

Für den Gebrauch empfiehlt es sich, in einer Tabelle die den Werthen von *D*, *t* und t_1 entsprechenden Temperaturen zusammenzustellen, worauf sich der Apparat auch ganz besonders dazu eignet, um die Angaben des Quecksilberthermometers auf die des Luftthermometers zu reduciren (S. 21). Für ein solches Luftthermometer, mit den Constanten $log \frac{v}{V} = 0{,}94528 - 3$ und $log\ \gamma = 0{,}44436 - 5$, bei dem der Druck *d* der bis zur Glasspitze abgesperrten Luft bei 0° 760,08 mm war, wurde z. B. die folgende Tabelle berechnet.

[1]) Jolly fand für die von ihm verwendete Glassorte 0,0000278.

D	T $t=20,\ t_1=20$	Für eine Differenz von 1 mm	T $t=20,\ t_1=15$	Für eine Differenz von 1 mm
460,08	— 108,585		— 108,582	
		0,36006		0,36024
510,08	— 90,582		— 90,570	
		0,36084		0,36104
560,08	— 72,540		— 72,519	
		0,36156		0,36168
610,08	— 54,462		— 54,434	
		0,36230		0,36232
660,08	— 36,347		— 36,317	
		0,36310		0,36320
710,08	— 18,192		— 18,158	
		0,36384		0,36316
760,08	— 0		0	
		0,36462		0,36540
810,08	+ 18,231		+ 18,275	
		0,36536		0,36546
860,08	+ 36,499		+ 36,548	
		0,36622		0,36628
910,08	+ 54,810		+ 54,862	
		0,36686		0,36702
960,08	+ 73,153		+ 73,213	
		0,36770		0,36786
1010,08	+ 91,538		+ 91,606	
		0,36834		0,36852
1060,08	+ 109,956		+ 110,032	

Da aber der Barometerstand bis auf Bruchtheile eines Millimeter abgelesen werden kann, so ist der Apparat sehr empfindlich.

Die von Pfaundler[1]) vorgeschlagene Form dieses Apparates hat keinen ersichtlichen Vorzug. Auch das Luftpyrometer von Codazza[2]) mit Luftcompressionsmanometer ist nicht besonders empfehlenswerth.

Crafts[3]) giebt ein Lufthermometer mit constantem Volumen an, welches an Stelle von Quecksilberthermometern verwendet werden kann (vergl. S. 17). Der kleine, mit Wasserstoff gefüllte, nur 0,75 ccm fassende Behälter a (Fig. 52) ist durch das 0,023 ccm fassende, 84 cm lange Capillarrohr b mit dem Manometer r und durch den Schlauch p mit dem Quecksilbergefäß f verbunden. Letzteres ist mittels der über die Rolle l gehenden Schnur auf dem Rohre i verschiebbar, in welchem am anderen Ende der Schnur ein entsprechendes Gegengewicht hängt.

Eigenthümlich ist der in Fig. 53 im Durchschnitt dargestellte Quecksilberabschluß. Das durch den Schlauch p zufließende Quecksilber tritt bei o aus einer kleinen Oeffnung des in das Rohr n mittels Kautschukschlauch luftdicht einge-

[1]) Carl's Rep. 1879, *527. — [2]) Dingl. 1873, 210, *255. — [3]) Dingl. 1879 233, *401.

ſetzten Rohres *x* zum Manometer. Die Oeffnung *o* legt ſich auf das obere, mit einer Gummiſcheibe überzogene Ende des eingekitteten Rohrendes *t*, neben welchem

Fig. 52.

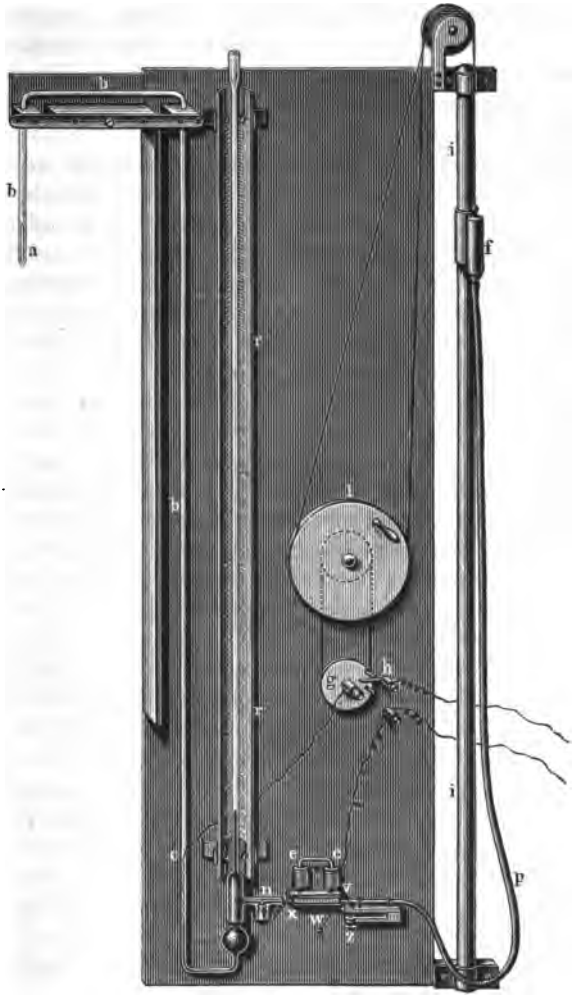


Fig. 53.

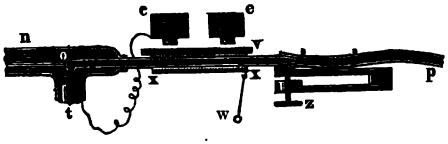


Fig. 54.

ein nach dem Elektromagnete *e* führender Platindraht eingeführt ist, während der andere Draht bei *c* eingeschmolzen wurde. Das Rohr *x* ist ferner in einer Kupferröhre befestigt, welche die dem Elektromagnete als Anker gegenüber gestellte Eisenplatte *v* trägt, deren Einstellung mittels der Schraube *z* bewirkt wird. Soll Quecksilber eintreten, so zieht man an der Schnur *w*, während sonst mittels eines auf der Scheibe *g* befestigten, an *h* anliegenden Stiftes der Strom und somit in Folge der Hebung des Rohres *x* durch den Elektromagnet die Oeffnung *o* geschlossen wird.

Für die Bestimmung hoher Temperaturen sind Glasgefäße wegen ihrer Erweichung, Metallgefäße wegen ihrer Durchlässigkeit und unregelmäßigen Ausdehnung nicht zu verwenden. Verfasser hat von der königl. Porzellanmanufactur in Berlin eine Anzahl Porzellanballons das Stück zu 3 Mk. 25 Pf. erhalten. Dieselben haben 9 cm Durchmesser, fassen etwa 360 ccm, das eingesetzte Porzellanrohr ist 13 cm lang; Fig. 54 zeigt die äußere Form desselben. Eine größere Anzahl Versuche damit, welche noch längere Zeit in Anspruch nehmen, soll später besprochen werden.

Die Temperaturangaben dieser letzteren Apparate gelten allgemein als die zuverlässigsten, ja die einzig richtigen, auf welche alle anderen corrigirt werden müssen. Deville[1]) warnt zwar davor, zu großes Vertrauen auf die Genauigkeit dieser Bestimmungen hoher Temperaturen zu setzen, da noch keineswegs feststehe, daß sich die Gase gleichmäßig ausdehnen, zusammengesetzte Gase, z. B. die Kohlensäure, aber selbst schon bei Rothglut Dissociationserscheinungen zeigen, daß daher Kohlensäure und Feuchtigkeit sorgfältig entfernt werden müssen[2]).

Amagat[3]) fand, daß die Ausdehnung der atmosphärischen Luft bei 2 Atm. Druck und hohen Temperaturen dem Boyle-Mariotte'schen Gesetze nahe stehe; Mendelejew und Kirpitschew[4]) fanden dagegen, daß dieses Gesetz ebenso wenig genau sei für Luft bei geringem wie bei hohem Druck, und Regnault[5]) zeigte, daß der Ausdehnungscoefficient der atmosphärischen Luft mit dem Drucke zunimmt. Berücksichtigt man ferner, daß, da die Ausdehnung des Glases schon zwischen 0 bis 100° nicht gleichmäßig ist (S. 21), die Volumvergrößerung von Glas und Porzellan bei hohen Temperaturen auch nicht regelmäßig sein wird, so können selbst die Temperaturbestimmungen mittels der Luftpyrometer wohl kaum Anspruch auf absolute Genauigkeit machen. Immerhin sind diese Fehlerquellen gering und lassen sich größtentheils ausgleichen, so daß bei sorgfältiger Ausführung der Versuche, wie sie allerdings nur in wohleingerichteten Laboratorien möglich ist, das Lufthermometer für hohe und niedere Temperaturen in der That als Normalthermometer angesehen werden muß.

Thermodynamometer. R. Pictet benutzt unter Anwendung des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie zur Temperaturmessung durch die mechanische Arbeit die Spannungen verschiedener Dämpfe, welche einerseits in einer festen Beziehung zu den Temperaturänderungen stehen, andererseits in dem auf die Gefäßwände ausgeübten, mittels Manometer meßbaren Druck einen in

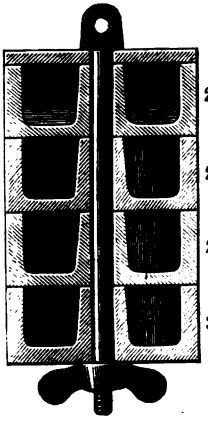
---

[1]) Dingl. 1872, 204, 34. — [2]) Vergl. Dingl. 1876, 221, 93. — [3]) Compt. rend. 75, 479. — [4]) Berichte d. ch. G. 1874, 486. — [5]) Mémoir. de l'Acad. 26, 565.

Meterkilogramm darstellbaren Werth liefern. Für Temperaturen von — 180 bis — 100° benutzt er eine Mischung aus gleichen Theilen Kohlensäure und Stickoxydul, von — 100 bis — 40° reine Kohlensäure, von — 40 bis + 25° reine Schwefligsäure, von + 25 bis + 90° Aether und von + 90 bis 200° Wasser. Bezüglich des Apparates und der umfassenden Berechnungen, welche diese für technische Zwecke wohl nicht brauchbaren Temperaturbestimmungen erfordern, muß auf die ausführliche Abhandlung in den Archives des Sciences physiques et naturelles, 1878, Bd. 64, S. *185 verwiesen werden [1]).

2. Aenderungen des Aggregatzustandes. Schon Prinsep [2]) (nach Anderen Princeps) bestimmte hohe Temperaturen mittels Legirungen aus Silber, Gold und Platin, deren Schmelzpunkt vorher festgestellt war. Gebr. Appolt [3]) verwendeten Legirungen aus Zinn und Kupfer, deren Schmelzpunkte mittels einer Eisenplatte calorimetrisch bestimmt waren. Von diesen Legirungen werden erbsengroße Stücke mittels einer Eisenstange, welche am vorderen Ende halbkugelförmige Vertiefungen hat, der zu messenden Temperatur ausgesetzt; der Schmelzpunkt der am schwersten schmelzbaren Legirung, welche hierbei geflossen ist, giebt die gesuchte Temperatur. F. Heeren [4]) hängt einen zweiarmigen Löffel aus feuerfestem Thon mit je 3 g einer Legirung aus Silber und Platin in den Feuerraum. M. Heeren [5]) schlägt vor, über einen Eisendorn ringförmige Schalen aus Gußeisen zu stecken, deren eine den Deckel der anderen bildet, während die obere Schale besonders zugedeckt ist, wie Figur 55 zeigt. In jede Schale wird der Ring einer Metalllegirung gelegt, deren Schmelzpunkte z. B. 20° aus einander liegen; dieselben sind auf dem Boden der betreffenden Schale in vertieften Zahlen angegeben. Auf den Scheiben, welche bei der zu messenden Temperatur geschmolzen sind, findet man daher nach dem Erkalten diese Zahl abgedrückt; da die obere Seite glatt bleibt, so werden die Scheiben für jeden folgenden Versuch einfach umgekehrt.

Fig. 55.



Ducomet (D. R. P. 4882) sucht dieses Princip in folgender Weise auszunutzen. Die beiden Enden der von einem Gehäuse eingeschlossenen Feder *B C D* (Fig. 56 u. 57 a. f. S.) werden durch die kleinen Schrauben *a* und *b* der Führungsbüchse *c* festgehalten. Durch die Schraube *d* ist die Feder mit der Zahnstange *H* verbunden, welche in ein kleines Getriebe eingreift, auf dessen Achse ein Zeiger sitzt, der somit durch eine Verschiebung der aus Metall oder feuerfestem Thon hergestellten Stange *E* bewegt wird. Das untere Ende dieser durch eine Metallhülle geschützten Stange trägt eine Anzahl Scheiben von verschiedenem Schmelz-

[1]) Dasselbe Princip ist jetzt bei dem sogen. Thalpotasimeter von Klinghammer angewendet. — [2]) Dingl. 1828, 28, 421; Edinburg. Journ. of Sc. 17, 168. — [3]) Mitth. Gewerbver. f. Hannover 1865, 346. — [4]) Dingl. 1861, 161, *105. — [5]) Dingl. 1877, 225, *277.

punkt, durch deren Gewicht die Feder etwa in die angedeutete elliptiſche Form gezogen wird. Erreicht nun die Temperatur des bis zur Flanſche *f* der zu meſſenden Hitze ausgeſetzten unteren Theiles den Schmelzpunkt einer der Platten, ſo ſchmilzt dieſe ab, die Feder wird dadurch entſprechend entlaſtet und rückt den Zeiger vor. Wie Fig. 56 zeigt, kann man ſtatt der Platten auch Stifte durch die Stange *E* ſtecken, bei deren Abſchmelzen die Stange und ſomit auch der Zeiger entſprechend vorrückt. Es läßt ſich ferner unten an die Stange eine Schale hängen, die mit einer Flüſſigkeit gefüllt wird, durch deren Verdampfung aus den Oeffnungen *m* (Fig. 57) die Feder entlaſtet wird u. ſ. f. — Das Verfahren dürfte nur für wenige Fälle empfehlenswerth ſein.

Fig. 56.

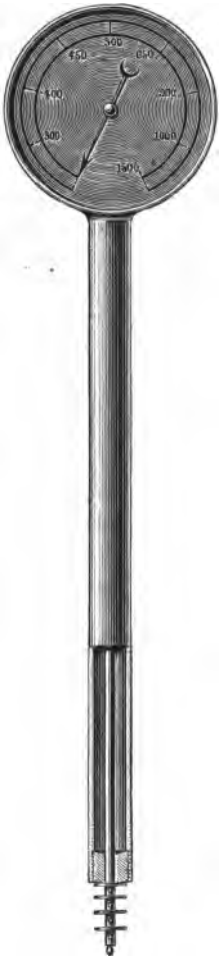
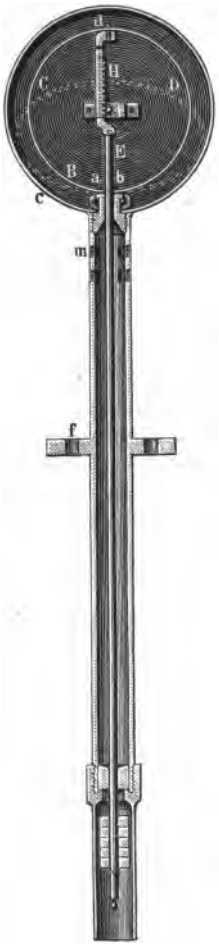


Fig. 57.

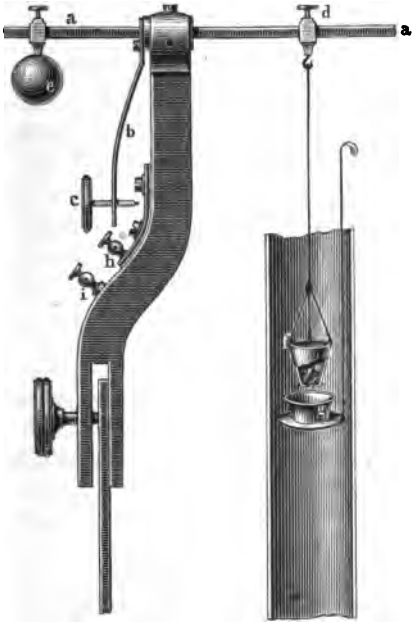


Um die Temperatur im Ultramarinofen zu beſtimmen, bringt Büchner[1]) ein 5 bis 8 cm weites Rohr aus feuerfeſtem Thon ſenkrecht im Ofen an. An daſſelbe iſt oben ein eiſerner Träger befeſtigt und an dieſem wiederum der eigentliche Apparat (Fig. 58) angeſchraubt. Letzterer trägt den verſchiebbaren Wagebalken *a*, an welchem der mit einer Schraube *c* ſtellbare Contact *b* angebracht iſt. An der einen Seite des Wagebalkens befindet ſich eine Stellſchraube *d*, an der anderen ein Gegengewicht *e*, welches ebenfalls nach Belieben geſtellt werden kann. An *d* wird mittels eines Platin- oder Eiſendrahtes der Tiegel *f* angehängt; derſelbe hat am Boden eine kleine Oeffnung. In dieſen Tiegel kommt nun, nachdem man ihn in das feuerfeſte Rohr eingehängt hat, die betreffende Legirung und es wird das Gewicht

[1]) Dingl. 1879, 232, *431.

mit dem Gegengewicht *e* ausgeglichen. Unter dem Tiegel hängt man mittels eines starken Eisendrahtes die kleine Porzellanschale *g* auf. Die in Fig. 58 weiter ersichtlichen Polschrauben *h* und *i* stehen nun einerseits mit einer Batterie (ein mittelgroßes Flaschenelement genügt) und andererseits mit der Glocke *K* (Fig. 59 und 60, a. f. S.) in Verbindung. Sobald nun im Ofen die Temperatur so hoch gestiegen ist, daß das Metall zum Schmelzen kommt, wird dasselbe durch die Oeffnung in die Schale *g* tropfen, der Tiegel *f* an Gewicht abnehmen, das Gegengewicht *e* wirken, der Stab *b* mit *h* in Contact treten und die Glocke anfangen zu läuten. Man nimmt alsdann den Tiegel *f* und die Schale *g* heraus und hängt einen neuen Tiegel mit einem höher schmelzbaren Metall hinein. Da der Inhalt der Schale *g* immer wieder zu dem Inhalt des Tiegels kommt, so hat man auch keinen Verlust an Metall zu beklagen. Selbstverständlich muß man jeden Tiegel aufs Neue ausbalanciren.

Fig. 58.



Die Glocke *K* ist nun an einer starken, 8 Tage gehenden Uhr (ohne Schlagwerk) angebracht. Der Schlaghebel *l* der Glocke ist verlängert und trägt an dem Ende *m* einen Messingstift *n*. An der Uhr selbst ist der große Zeiger durch ein Zifferblatt ersetzt, dessen Eintheilung aus der Zeichnung leicht verständlich sein wird. Sobald also die Glocke zum Anschlag gebracht wird, so wird auch jedesmal der Stift *n* auf dem Zifferblatt einen Punkt eindrücken, womit also die betreffende Temperatur von selbst registrirt ist. Zu bemerken ist noch, daß der Stift *n* in dem Hebel *m* verschiebbar ist, man denselben also nach Ablauf von 12 Stunden nur auf einen anderen Kreisbogen einzustellen hat, um das Zifferblatt 72 Stunden lang gebrauchen zu können.

Th. Erhard und A. Schertel[1]) haben die Schmelzpunkte einiger Legirungen von Silber, Gold und Platin mittels eines Luftthermometers in einem kleinen, mit einem Schlösing'schen Löthrohre geheizten Ofen bestimmt. Zur Herstellung der Legirungen wurden die Metalle abgewogen und, in Mengen von 100 bis 150 mg zur Kugel geschmolzen, der zu messenden Hitze ausgesetzt. Die Platin-Goldlegirungen zeigten große Neigung zum Entmischen. Die Beobachter glauben, daß diese bis 1400° gehenden Bestimmungen nur eine Ungenauigkeit bis 20°

[1]) Jahrb. Berg. Hüttenw. Sachsens 1879, *17.

zeigen; die höheren Temperaturen ſind mit Benutzung der Angaben von J. Violle (S. 64) durch graphiſche Interpolation gefunden:

Zuſammenſetzung Proc.	Schmelzpunkt	Zuſammenſetzung Proc.	Schmelzpunkt	Zuſammenſetzung Proc.	Schmelzpunkt
Silber = Ag	954°	80 Au 20 Pt	1190°	35 Au 65 Pt	1495°
80 Ag 20 Au	975	75 25	1220	30 70	1535
60 40	995	70 30	1255	25 75	1570
40 60	1020	65 35	1285	20 80	1610
20 80	1045	60 40	1320	15 85	1650
Gold = Au	1075	55 45	1350	10 90	1690
95 Au 5 Pt	1100	50 50	1385	5 95	1730
90 10	1130	45 55	1420	Platin = Pt	1775
85 15	1160	40 60	1460		

Die Anwendung derartiger Legirungen iſt für viele Fälle allerdings bequem, doch muß der Schmelzpunkt jedesmal vorher genau feſtgeſtellt werden. Bei dem großen Einfluß, den oft geringe Beimengungen auf den Schmelzpunkt haben

Fig. 59.

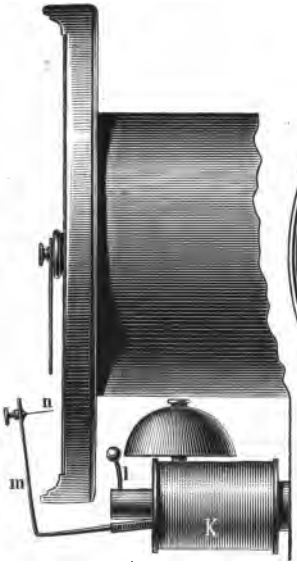
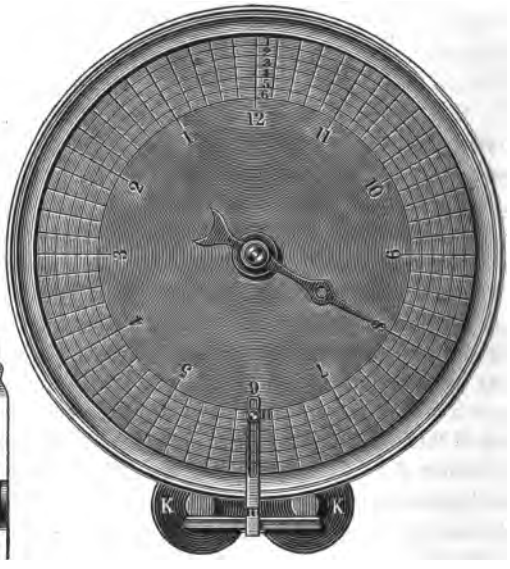


Fig. 60.



(Schmiedeiſen, Gußeiſen), und bei der Leichtigkeit, mit der ſich die meiſten Legirungen beim Umſchmelzen zerſetzen, iſt ihre Anwendung nicht unbedenklich.

3. Dissociation. Lamy[1]) verwendet die von Debray[2]) untersuchte Dissociation des kohlensauren Calciums zu seinem Pyrometer, indem er aus der Spannung der Kohlensäure aus dem in einem Porzellanrohre der zu messenden Hitze ausgesetzten Marmor die Temperatur berechnet. Weinhold[3]) zeigt, daß dasselbe völlig unbrauchbar ist.

4. Optische und akustische Erscheinungen. Bekanntlich giebt es eine Anzahl Körper, welche beim Erhitzen dauernd oder vorübergehend dunkler werden. Heß[4]) empfiehlt für niedere Temperaturen Jodkupferquecksilber. Ob für höhere Temperaturen in gleicher Weise in einzelnen Fällen Eisenoxyd, Zinnober, Quecksilberoxyd und andere Stoffe, die beim Erhitzen ihre Farbe ändern, zu Temperaturbestimmungen verwendet werden können, ist erst durch Versuche festzustellen. Die Anlauffarben des Stahles, welche ebenfalls zur Bestimmung hoher Temperaturen verwendet wurden, sind nicht nur abhängig von der Höhe der Temperatur, sondern auch von der Dauer der Erhitzung, können daher höchstens annähernd richtige Resultate geben.

Nach C. Decharme[5]) hängen die auch von Pouillet zur Temperaturbestimmung vorgeschlagenen Glühfarben der Metalle, namentlich des Platins, von der Dicke und der Anordnung des betreffenden Metallfadens ab.

Becquerel[6]) bestimmt die Temperaturen thermo-elektrisch, die von dem erhitzten Körper ausgestrahlten Lichtmengen mittels eines Polarisationsphotometers und drückt die Beziehung beider Größen durch eine Exponentialformel aus zur Berechnung der Temperaturen, die für sein Thermoelement Platin-Palladium zu hoch sind. Weinhold wendet dagegen ein, daß Becquerel die als einfarbig betrachteten Lichtarten mittels farbiger Gläser erhalten hat, so daß seine Formeln nur für die von ihm gebrauchten Gläser Geltung haben können.

Dewar und Gladstone[7]) haben Versuche gemacht, hohe Hitzegrade durch die Aenderung des Spectrums bei steigender Temperatur zu bestimmen; doch stellten sich ihnen bis jetzt unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen.

A. Crova[8]) bestimmt aus den continuirlichen Spectren zweier Lichtquellen, deren eine die bekannte Temperatur T, die andere die unbekannte t hat, mittels Spectrometer die Intensität eines rothen und eines grünen Strahles, deren Wellenlängen λ und λ_1 676 und 523 betragen. Der Quotient derselben giebt das Verhältniß der Intensitäten der Strahlen λ_1 in beiden Spectren, wenn das stärkere so abgeschwächt wurde, daß der Strahl λ in beiden gleich ist. Zwei Körper desselben Strahlungsvermögens haben aber dieselbe Temperatur, wenn die Intensitäten der einfachen Strahlen ihrer continuirlichen Spectren gleich bleiben, falls das stärkere durch zwei Nicols so geschwächt wird, daß die Intensitäten zweier Strahlen gleicher Wellenlänge in beiden Spectren gleich sind. Crova giebt nun dem Lichte einer mit Rüböl gespeisten Moderateurlampe die optische Temperatur 1000 und vergleicht damit die Intensitäten des grünen und rothen Strahles der unbekannten Lichtquelle. Das so erhaltene Verhältniß wird mit

---

[1]) Dingl. 1869, **194**, 209; **195**, 525. — [2]) Compt. rend. **64**, 603. — [3]) Dingl. 1873, **208**, 126. — [4]) Dingl. 1875, **218**, 183. — [5]) Jahresber. Chem. 1875, **49**. — [6]) Compt. rend. **55**, 826. — [7]) Chem. News **28**, 174. — [8]) Compt. rend. **88** 171.

dem Strahlungsvermögen des Porzellanbehälters eines Luftthermometers verglichen und so auf die richtige Temperatur umgerechnet [1]).

Die folgende Tabelle giebt die „optischen" Temperaturen verschiedener Lichtquellen in der willkürlichen Scala:

Bis zur Rothglut in einer Gaslampe erhitztes Platin	524
Bis zur weißen Rothglut in einem Gebläse erhitztes Platin . .	810
Mit Rüböl gespeiste Moderateurlampe	1000
Stearinlicht	1162
Gaslicht (Argandbrenner)	1373
Hydrooxygenlicht (Leuchtgas und Sauerstoff auf Kalk)	1816
Elektrisches Licht (60 Bunsen'sche Elemente)	3060
Sonnenlicht	4049

Wie Becquerel für Porzellan, Kohle, Platin und Magnesia, so hat Crova für Kohle, Kalk und Platin gleiches Strahlungsvermögen gefunden.

Setzt man nach den Versuchen von J. Violle [2]) die Intensität I des von Platin beim Schmelzpunkt des Silbers (954°) ausgestrahlten Lichtes $= 1$, so erhält man für die Temperaturen zwischen 800 und 1775° folgende Werthe:

800°	$I = 0{,}108$	1200°	$I = 17{,}8$	1600°	$I = 327$
900	0,475	1300	45,2	1700	481
1000	1,82	1400	100	1775	587
1100	6,10	1500	194		

Diese der Formel $\log I = -8{,}244929 + 0{,}0114751\,t - 0{,}000002969\,t^2$ entsprechenden Zahlen zeigen, daß das bei 500° kaum sichtbare rothe Licht anfangs rasch, dann langsam zunimmt, bei 1933° das Maximum von 696 erreicht, um bei 2910° wieder auf 1 herunter zu gehen. Die Intensität einer bestimmten Strahlung wächst somit nicht unbegrenzt mit der Temperatur, sondern wird bei einer gewissen hohen Temperatur gerade so wieder unmerklich, als sie bei einer anderen niederen Temperatur erst auftrat. Da nun ferner das Verhältniß der leuchtenden und dunkeln Strahlen in unseren verschiedenen Wärme- und Lichtquellen bekanntlich durchaus nicht dasselbe ist, so sind derartige spectroskopische Wärmemessungen noch mit großer Vorsicht aufzunehmen (S. 53).

Cagniard-Latour und Demonferrand [3]) berechnen die Temperatur aus der Aenderung der Tonhöhe einer Flötenpfeife. Auch Meyer [4]) berechnet bei seinem akustischen Pyrometer die Temperatur aus den durch die Erwärmung bewirkten Abweichungen in der Anzahl von Wellenlängen von in Röhren eingeschlossener Luft. J. Chautard [5]) hat dieses Pyrometer vereinfacht, bezweifelt aber selbst die praktische Brauchbarkeit desselben.

5. Elektrische Erscheinungen. Pouillet [6]) berechnet die Temperaturen aus der Stromstärke eines thermo-elektrischen Elementes von Eisen und Platin.

---

[1]) Vergl. Beibl. zu Annal. Phys. Chem. 1879, 275. — [2]) Compt. rend. 88, 171. — [3]) Compt. rend. 4, 28. — [4]) Pogg. Ann. 148, 287. — [5]) Pogg. Ann. 153, 158; vergl. Dingl. 1878, 227, 507. — [6]) Dingl. 1837, 63, 221.

Solly[1]) verwendet ein solches von Eisen und Kupfer, Becquerel, wie bereits erwähnt, Platin und Palladium. Schinz[2]) zeigt, daß man mit dem Apparate von Becquerel völlig falsche Angaben erhält; er verwendet daher wieder Eisen und Platin. Nach den früheren Versuchen von Regnault[3]) giebt jedoch auch ein Eisen-Platinelement unzuverlässige Resultate. Zur Messung hoher Temperaturen ist demnach die Thermoelektricität nicht zu verwenden, sondern nur für ganz geringe Temperaturschwankungen, wie sie bei der Bestimmung der strahlenden Wärme vorkommen (S. 53).

Empfehlenswerth ist dagegen das elektrische Pyrometer von C. W. Siemens[4]) in London, welcher den mit der Temperatur wachsenden Leitungswiderstand verwendet. Von den älteren Versuchen, welche die Widerstandsänderung nur von 0 bis 100° verfolgen, lassen die von Arndtsen und W. Siemens die Widerstandsänderung der Temperaturänderung einfach proportional erscheinen[5]), während die von Matthiessen eine Abweichung von der Proportionalität ergeben, welche derselbe durch eine Formel ausdrückt, die aber wenig über 100° alle Gültigkeit verliert. Siemens hat für Platin, Kupfer, Eisen, Aluminium und Silber die Untersuchung zunächst bis auf Temperaturen von etwa 300° ausgedehnt und dabei gefunden, daß bei größeren Temperaturunterschieden die Abweichung von der Proportionalität zwischen Temperaturänderung und Widerstandsänderung eine erhebliche ist, daß aber für alle untersuchte Metalle die Beziehung zwischen Temperatur (t) und Widerstand (R) sich befriedigend ausdrücken läßt durch die Formel $R = \alpha\, T^{1/2} + \beta\, T\, t + \gamma$, in welcher T die absolute Temperatur ($t + 273$) und α, β und γ Coefficienten sind, die von der Natur des Metalles abhängen. Beim Platin, das für pyrometrische Zwecke allein in Frage kommen kann, ändern sich diese Coefficienten sehr bedeutend durch ganz geringfügige Verunreinigungen des Metalles; die Leitungsfähigkeit verschiedener Platinsorten wurde bei 22,8° von 8,85 bis 4,7 schwankend gefunden (Leitungsvermögen des Quecksilbers = 1 gesetzt); die Zunahme des Leitungwiderstandes von 20° bis 100° schwankte von 22,4 bis 33,5 Proc. Das größte Leitungsvermögen zeigt das auf ältere Art durch Zusammenschweißen von Platinschwamm erzeugte Metall, jedenfalls weil es am reinsten ist; solches Platin verwendet Siemens ausschließlich zur Herstellung seiner Pyrometer.

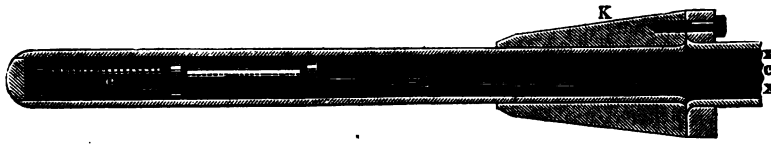
Bei diesem Widerstandspyrometer ist nun ein Platindraht (dessen Constanten für die obige Formel $\alpha = 0{,}039369$, $\beta = 0{,}00216407$ und $\gamma = -0{,}24127$) von 0,4 mm Dicke und 10 Siemens-Einheiten Widerstand in eine feine, schraubenförmig um einen Cylinder e (Fig. 61) aus hart gebranntem Pfeifenthon laufende Rinne eingelegt, die Enden sind an mäßig lange, dickere Platindrähte angeschmolzen, und an diese wieder sind kupferne Leitungsdrähte angelöthet; überdies ist Vorsorge getroffen, kleine Theile des dünnen Drahtes mittels einer verschiebbaren Klemme aus der Leitung aus oder in dieselbe einschalten zu können, damit

---

[1]) Phil. Mag. II, 19, 391. — [2]) Dingl. 1865, 177, *85; 1866, 179, *436. — [3]) Mém. de l'Acad. 21, 246. — [4]) Dingl. 1869, 193, 516; 1877, 225, 463; Electrical resistance thermometer (London *1875). — [5]) Vergl. Reißig, Dingl. 1864, 171, 351; Benoit, Dingl. 1875, 215, 471.

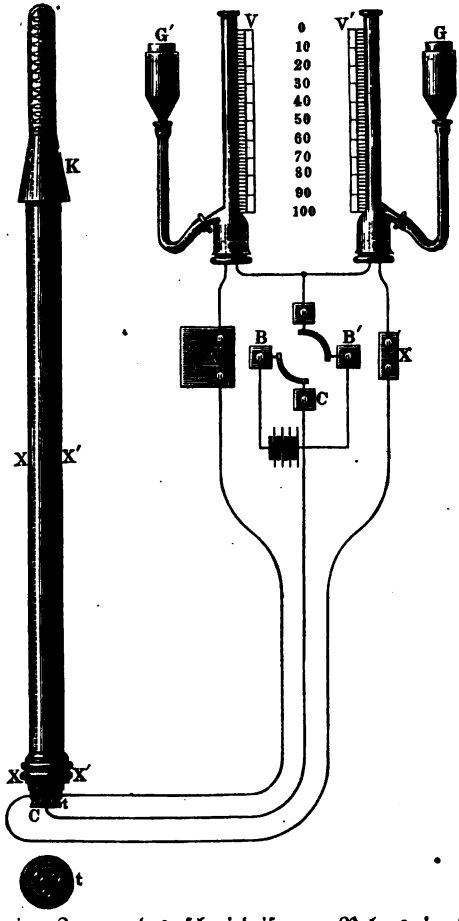
der Widerſtand genau auf die verlangte Größe von 10 Einheiten gebracht werden kann. Das eine Ende des dünnen Drahtes iſt mit einem dickeren Leitungsdrahte, das andere Ende iſt mit zwei ſolchen Drähten verbunden; jeder dieſer drei Drähte

Fig. 61.



iſt eingeſchoben in enge Thonröhren, die zur Iſolation dienen, und der Thoncylinder mit dem feinen Drahte ſammt den angeſetzten drei ſtärkeren Leitungen iſt eingelegt in ein ſtarkes, ſchmiedeiſernes Rohr, welches an dem unteren Ende zugeſchweißt iſt, während das andere Ende auf einer in Meſſing gefaßten, iſolirenden Thonplatte *t* (Fig. 62) drei Klemmſchrauben trägt, welche mit den Enden der dickeren Leitungsdrähte verbunden ſind. Der Thoncylinder iſt durch ein umgewickeltes Platinblech geſchützt und dieſes iſt noch durch eine Zwiſchenlage von Asbeſt von dem umhüllenden Eiſenrohre getrennt. An einzelnen Exemplaren, welche vorzugsweiſe beſtimmt ſind, andauernd den höchſten Hitzegraden ausgeſetzt zu werden, hat Siemens den ganzen, dem lebhaften Glühen ausgeſetzten Theil des Eiſenrohres durch ein Platinrohr erſetzt, da es ſich gezeigt hat, daß bei ſehr anhaltendem Glühen der Widerſtand des Platindrahtes im Eiſenrohre eine dauernde Vergrößerung erfährt, was nicht der Fall iſt, wenn die Umhüllung des Drahtes aus Platin beſteht; die im Innern des ſchmiedeiſernen Rohres in ſtarker Glühhitze ſich erzeugende

Fig. 62.



reducirende Atmosphäre bewirkt eine Verunreinigung des Platindrahtes durch Spuren aus dem Thon des Cylinders herrührenden Siliciums, und diese Verunreinigung vermindert die Leitungsfähigkeit des Pladindrahtes. Der Thoncylinder ist so wenig wie irgend ein anderer Körper ein absoluter Nichtleiter, und seine Isolationsfähigkeit nimmt noch ab, wenn er in der Hitze einigermaßen erweicht. Siemens hat deshalb den Widerstand desselben untersucht und gefunden, daß derselbe in der Kälte 1000000 Einheiten, in der stärksten im Ofen erreichbaren Glühhitze noch 500 Einheiten beträgt und beim Wiedererkalten des Cylinders zu seiner ursprünglichen Größe zurückgeht. Gegen den Widerstand des Platindrahtes (10 Einheiten bei 0^0, 39,18 Einheiten bei 1000^0) ist also der des Thoncylinders so groß, daß man diesen unbedenklich als Isolator ansehen kann; es macht sich kaum bei den allerhöchsten Temperaturen ein geringer Einfluß des Thoncylinders geltend, derart, daß der Widerstand des Drahtes etwas zu klein und dadurch die beobachtete Temperatur etwas zu niedrig erscheint.

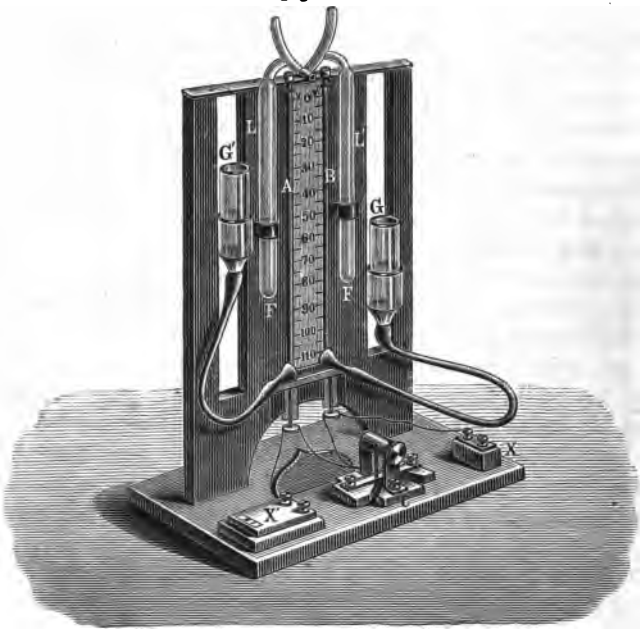
Zur Strommessung hat Siemens das leicht zu handhabende Differentialvoltameter construirt. Der Strom einer mäßig starken galvanischen Batterie (6 Leclanché-Elemente, die im Kasten *m*, Fig. 64, S. 51, stehen) wird in zwei Zweige getheilt, von denen jeder durch ein Voltameter und überdies der eine durch einen bekannten, der andere durch den zu messenden Widerstand geht. Da die Stromstärken in den beiden Zweigen den Widerständen umgekehrt und die in den Voltametern entwickelten Knallgasmengen den Stromstärken direct proportional sind, so giebt das Verhältniß der in den beiden Voltametern entwickelten Knallgasmengen das umgekehrte Verhältniß der Widerstände. Bei dem zum Pyrometer verwendeten Differentialvoltameter ist der Widerstand jedes Voltameters sammt den zugehörigen Verbindungsdrähten gleich 3, der in den einen Zweig der Leitung eingeschaltete constante Neusilberwiderstand gleich 17 Siemens-Einheiten. Bezeichnet man die in diesem Zweige entwickelte Knallgasmenge mit V, die in dem anderen Zweige entwickelte mit V' und den in diesem zweiten Zweig eingeschalteten, unbekannten Widerstand mit R, so ist $(17 + 3) : (R + 3) = V^1 : V$ und somit

$$R = 20\frac{V}{V'} - 3.$$

Eine Ansicht des Differentialvoltameters giebt Figur 63 a. f. S., eine schematische Darstellung der Anordnung der Leitungen Fig. 62. Auf einem Holzgestell F sind zwei enge, genau gleich weite Glasröhren A und B angebracht, deren jede unten eine kleine Erweiterung trägt. Die erweiterten Theile enthalten je zwei Platinelektroden und stehen durch seitlich angesetzte Gummischläuche in Verbindung mit den Glasgefäßen G und G', welche in kleinen Holzschlitten sitzen und sich mit mäßiger Reibung an dem Gestell auf- und abschieben lassen. Sowohl die beiden Glasbehälter, als auch die Röhren A und B sind an und für sich offen; letztere werden aber für gewöhnlich verschlossen durch kleine Gummipolster, welche an den horizontalen Armen zweier Winkelhebel mit gemeinschaftlicher Drehungsachse sitzen. Die Gewichte L und L' ziehen die Winkelhebel für gewöhnlich abwärts und drücken dadurch die Gummipolster fest. Soll der Verschluß der Glasröhren gelüftet werden, so drückt man die aufwärts gerichteten Arme der Winkelhebel gegen einander, wodurch die Gummipolster gehoben werden.

Hinter den Glasröhren *A* und *B* liegen Scalen, deren Nullpunkte sich nahe unter dem oberen Ende der Glasröhren befinden. Die linke Scala trägt die Bezeichnung *V*, die rechte *V'*. Das linke Voltameter ist mit dem Widerstande von 17 Einheiten, der in einem Holzgehäuse *X'* auf dem Fußbrette steht, das

Fig. 63.

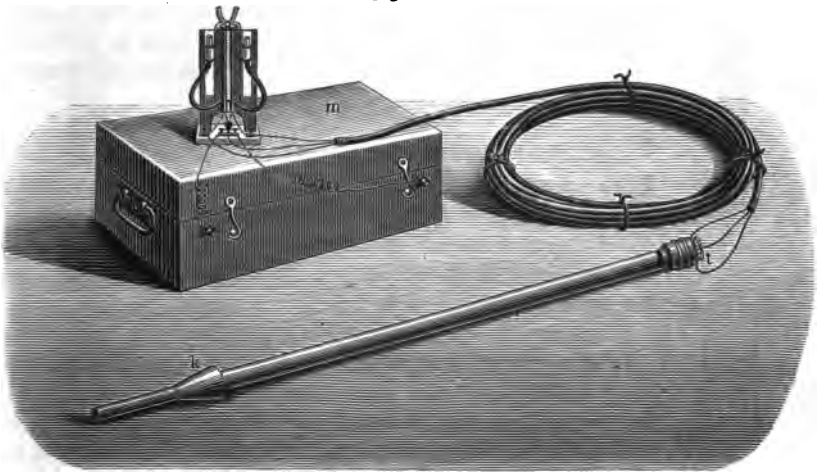


rechte mit der Klemmschraube *X* und überdies sind beide mit dem vorn in der Mitte des Fußbrettes befindlichen Commutator verbunden und zwar mit dessen hinterer Klemme. Die vordere Klemme desselben ist mit *C* bezeichnet; an die linke und rechte Klemme *B* und *B'* werden die von der Batterie kommenden Zuleitungsdrähte angesetzt. Die drei Klemmschrauben an dem den Platinwiderstand enthaltenden Eisenrohr sind ebenfalls mit *X*, *X'* und *C* bezeichnet; die von *X'* und *C* kommenden Drähte sind beide mit dem einen Ende des dünnen Platindrahtes, der von *X* kommende ist mit dem anderen Ende desselben verbunden. Die zur Verbindung der gleich bezeichneten Theile am Voltameter und am Eisenrohr dienenden drei Kupferdrähte sind in einem kleinen Kabel von etwa 23 m Länge enthalten; man kann also das Voltameter ziemlich entfernt von dem Punkte aufstellen, dessen Temperatur gemessen werden soll.

Beim Gebrauch des Instrumentes werden die Theile in der durch Figur 62 und 64 angedeuteten Weise verbunden, die Glasbehälter *G* und *G'* mit verdünnter Schwefelsäure (1 Vol. Säure auf 9 Vol. Wasser) gefüllt und so hoch gestellt, daß sich die Flüssigkeit in den Glasröhren *A* und *B* auf Null einstellt, wenn man den Röhrenverschluß aufhebt. Der Commutator bleibt zunächst in solcher Stellung, daß der Strom unterbrochen ist. Hierauf setzt man das Eisenrohr,

welches den Platinwiderstand enthält, der zu messenden Temperatur aus, schließt den Strom und wechselt dessen Richtung mittels des Commutators etwa alle 10 Secunden, um ungleiche Polarisation zu vermeiden. Sobald sich jede der beiden Glasröhren *A* und *B* bis wenigstens zur Hälfte mit dem entwickelten Knallgase gefüllt hat, unterbricht man den Strom, schiebt die Behälter *G* und *G'* soweit herunter, daß in jedem die Flüssigkeit in gleicher Höhe mit der in der

Fig. 64.



zugehörigen Röhre *A* oder *B* steht und liest die entwickelten Knallgasmengen ab. Da es nur auf das Verhältniß dieser Volumen ankommt und dieselben unter gleichem Druck, bei gleicher Temperatur und gleichem Feuchtigkeitsgehalte gemessen werden, so ist eine Reduction derselben auf den Normalzustand gar nicht erforderlich. Um überdies jede Rechnung zu ersparen, wird dem Instrumente eine Tabelle beigegeben, welche für jede zwei Volumen *V* und *V'* unmittelbar die zugehörige Temperatur angiebt.

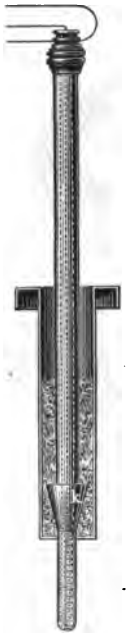
Nach den Versuchen von Chwolson[1]) verringert sich beim Ausglühen eines durch Zug oder Ablöschen gehärteten Platinadrahtes sein Widerstand bis zu etwa 5 Proc. Bei anhaltendem starken Glühen vergrößert er sich wieder, desgleichen beim Ablöschen. Dagegen vergrößerte sich nach heftigem, andauerndem Glühen der Widerstand eines weichen Platindrahtes um höchstens 0,14 Proc. Darauf folgendes Ablöschen gab keine Spur einer weiteren Veränderung. Ein zweiter weicher Platindraht hatte erst nach 25 Minuten andauernden Glühens eine Vergrößerung des Widerstandes um etwa 0,4 Proc. Diese Versuche zeigen, wie wenig sich der Widerstand des Platins selbst nach heftigem und lange anhaltendem Glühen ändert, und daß die Anwendung weichen Platindrahtes im Siemens'schen Pyrometer wohl als gerechtfertigt zu betrachten ist. Ich selbst benutze seit vier Jahren ein von Siemens bezogenes Pyrometer und kann nur bestätigen, daß es

[1]) Carl's Repert. 14, 23.

bei sorgfältiger Behandlung durchaus übereinstimmende, gute Resultate giebt [1]) (vergl. S. 12). Seiner allgemeinen Einführung steht nur entgegen, daß es etwas schwierig zu handhaben und sehr theuer ist; das von mir bezogene kostete ab London 20 Pf. St., hier also fast 500 Mark.

Zu bemerken ist noch, daß ich durchweg unregelmäßige Angaben erhielt, sobald der Conus *k* rothglühend wurde. Um dies zu verhüten, habe ich z. B. bei Temperaturbestimmungen in Ringöfen dasselbe mit einer Blechhülse umgeben, wie sie Fig. 65 im Durchschnitt zeigt, und den Conus *k* mit Asbest umgeben; diese Blechhülse wurde dann in die Schüröffnungen eingesetzt, so daß nur der untere Theil des Instrumentes von der Hitze getroffen wurde.

Fig. 65.



6. Vertheilung der Wärme. Zur Bestimmung hoher Temperaturen hat man mehrfach versucht, die Wärme durch Leitung oder Strahlung so weit zu vermindern, daß sie mittels eines Quecksilberthermometers bestimmt werden kann, oder aber die von dem erhitzten Körper aufgenommene Wärme auf eine große Menge eines anderen zu vertheilen.

Jourdes [2]) setzt das Ende einer Eisenstange der zu messenden Hitze aus und bestimmt mittels eines gewöhnlichen Thermometers die Temperatur von Oel oder Quecksilber, welche in die Höhlung des anderen Endes gebracht sind. Schinz [3]) suchte aus der Temperatur der äußeren Fläche der Ofenwand die im Innern des Ofens herrschende Hitze zu berechnen, überzeugte sich aber später, daß wegen der ungleichen Wärmeleitungsfähigkeit des Mauerwerkes auf diese Weise keine brauchbaren Resultate zu erlangen sind. Main [4]) umgiebt ein Quecksilberthermometer mit Asbest und berechnet aus den so erhaltenen Angaben die Temperatur heißer Gebläseluft, nachdem er für jeden Apparat die Wärmeleitungsfähigkeit der Asbestumhüllung festgestellt hat. Die damit erhaltenen Angaben können höchstens annähernd richtig sein.

Sweeny [5]) berechnete bereits im Jahre 1827 die Temperatur eines Ofens aus der strahlenden Wärme desselben, welche er mittels eines Hohlspiegels auf die Kugel eines Quecksilberthermometers concentrirt.

Bekanntlich wird sonst die strahlende Wärme mittels des Differentialthermometers von Leslie (Fig. 66) bestimmt, bestehend aus zwei durch das rechtwinklig gebogene, theilweise mit Schwefelsäure als Index gefüllte Rohr verbundene Glaskugeln *L* und *L'* [6]), meist aber durch Melloni's Thermomultiplicator. Er besteht aus einer thermoelektrischen Säule von Wismuth und Antimon, die an beiden Enden mit Ruß geschwärzt und mit ihrer Fassung *p* (Fig. 67),

---

[1]) Dingl. 1876, **221**, 470; 1878, **228**, 432. — [2]) Dingl. 1860, **157**, 151. — [3]) Dingl. 1862, **163**, *321; 1865, **177**, *85. — [4]) Dingl.. 1876, **221**, *117. — [5]) Pogg. Ann. **14**, 531. — [6]) Vergl. Dingl. 1821, **6**, *236; Müller, Physik, Bd. 2, S. *813.

welche entweder viereckig oder rund ist, auf einem Stativ befestigt (Fig. 68) und durch die aufgesteckten Hülsen *a* und *b* gegen schädliche Einflüsse geschützt sind. Die der Wärmequelle, hier einem Leslie'schen Würfel *H*, zugewendete Hülse ist offen, die andere ist geschlossen. Die von den Klemmschrauben *x* und *y* ausgehenden Drähte *g* und *h* sind durch die Schrauben *m* und *n* mit dem Multiplicator *M* verbunden. Jeder Temperaturunterschied der beiden geschwärzten Seiten der Säule giebt einen entsprechenden Ausschlag der Nadel. — (In wie weit es gelingen wird, das Mikrophon oder Mikrotasimeter [1]) zu Wärmemessungen zu benutzen, ist noch fraglich.)

Fig. 66.

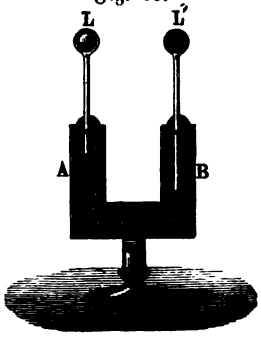
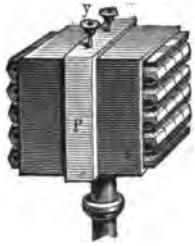
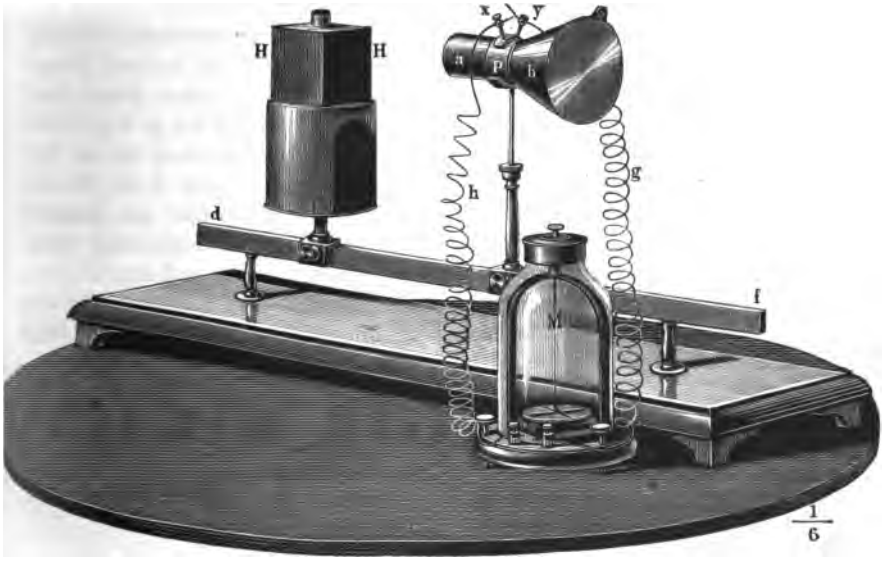


Fig. 67.



F. Rosetti [2]) hat versucht, auf diese Weise die Temperatur der Sonne zu messen. Es wurde dazu zunächst die Strahlung eines mit Quecksilber gefüllten

Fig. 68.



Leslie'schen Würfels, der bis auf 300° erhitzt werden konnte, mittels einer Thermosäule und eines Wiedemann'schen Galvanometers bestimmt; es ergab sich für den thermischen Effect der Strahlung *Y*, wenn *T* die absolute Temperatur

[1]) Dingl. 1878, 229, 151, *266. — [2]) Beibl. z. Annal. Phys. 1878, 695.

des ſtrahlenden, δ die der Umgebung der Thermoſäule und a und b Conſtante ſind, ſehr angenähert:

$$Y = a\,T^2(T-b) - b\,(T-\delta).$$

Dieſe Formel wurde noch dadurch geprüft, daß eine Kupferkugel in der Flamme eines Bunſen'ſchen Brenners auf etwa 700 bis 800° erhitzt wurde, und ihre Temperatur ſowohl aus der Formel berechnet, als auch auf calorimetriſchem Wege beſtimmt wurde.

Ferner wurde das Strahlungsvermögen verſchiedener Körper (Kupfer 0,943, Kupfer mit Ruß bedeckt 1, Eiſen 0,882, Platin 0,35 und Magneſiumoxychlorid 0,58) beſtimmt, indem Scheibchen dieſer Subſtanzen in einer beſtimmten Stelle der Bunſen'ſchen Brenner erhitzt wurden. Roſetti fand nun unter Zugrundelegung obiger Werthe und der Berückſichtigung der Abſorption der Erdatmoſphäre aus Verſuchen über die Erwärmung einer Thermoſäule durch die Strahlung der Sonne, die effective Temperatur[1]) derſelben zu 9965,4° oder 20380,7°, je nachdem man auf die Abſorption innerhalb der um die Photoſphäre liegenden Sonnenatmoſphäre Rückſicht nimmt oder nicht.

So ſehr wichtig es nun auch wäre, die Temperatur unſerer Schmelzöfen für Glas, die verſchiedenen Metalle u. dergl., die man bis jetzt auf keine andere Weiſe genau beſtimmen kann, durch Meſſung der ſtrahlenden Wärme feſtzuſtellen, ſo wenig Ausſicht iſt doch, vorläufig wenigſtens, auf Erfüllung dieſes Wunſches. Nicht allein iſt das Wärmeausſtrahlungsvermögen der verſchiedenen Körper ſehr ungleich, die Ausſtrahlung iſt auch nicht der Temperatur proportional. So zeigt Soret[2]) neuerdings, daß das Geſetz von Dulong und Petit für hohe Temperaturen keine Gültigkeit hat. Läßt man nämlich einen elektriſchen Strom durch einen leitenden Draht gehen, ſo ſteigt die Temperatur deſſelben bis zu dem Grade, daß die Wärme, welche er durch Strahlung, durch die Berührung mit der Luft und durch die Leitung an den Befeſtigungspunkt verliert, gleich iſt der Wärme, welche die Elektricität in ſeinem Innern entwickelt. Man kann nun einerſeits dieſe Wärmemenge berechnen, andererſeits, indem man die Temperatur ſchätzt, welche der Draht annimmt, die Wärmemenge beſtimmen, die er nach dem Dulong und Petit'ſchen Geſetze ausſtrahlen muß. Ein 0,32 mm dicker und 385 mm langer Platindraht, deſſen Oberfläche ſomit 385 qmm betrug, wurde nun durch

---

[1]) Effective Temperatur der Sonne iſt nach Roſetti diejenige, welche ein glühender Körper von gleichen Dimenſionen in gleicher Entfernung haben müßte, um eine gleiche thermiſche Wirkung zu erzeugen, falls er ein Emiſſionsvermögen gleich Eins beſäße. — Sonſtige neuere Angaben über die Temperatur der Sonne ſind:

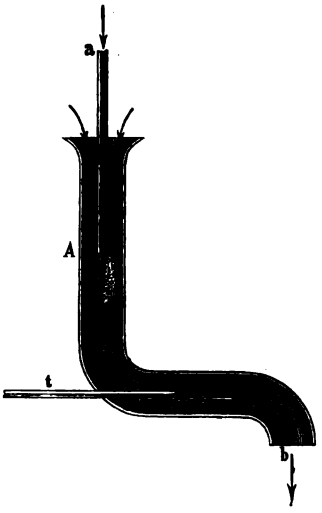
Secchi (1873)	5 801 846°
Derſelbe (1874)	133 780 bis 169 980°
Zöllner	61 350°
Berthelot (1878) . .	über 2 500°
Deville	2 500 bis 2 800°
Violle (1876)	2 500°

Wohl der beſte Beweis, wie wenig wir bis jetzt im Stande ſind, hohe Temperaturen mittels des Spectroſkopes, des Thermomultiplicators und ähnlicher Apparate auch nur annähernd zu beſtimmen.

[2]) Dingl. 1879, 233, 405.

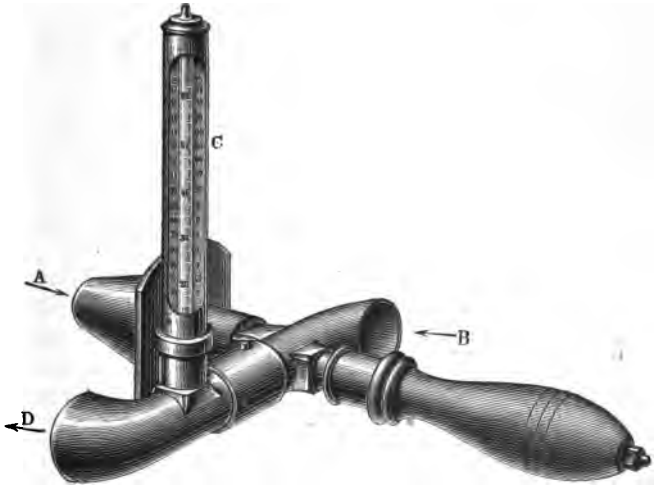
den Strom einer dynamo-elektrischen Maschine von 42,3 W.-E. Wärmeentwickelung in der Minute zum Schmelzen gebracht, während schon die Oberfläche von 3 qcm bei 1700° nach der Dulong und Petit'schen Formel in der Minute 146 W.-E. ausstrahlen sollte, was nicht möglich ist, da höchstens 42 W.-E. zugeführt wurden. Ferner zeigt Buff [1]), daß feuchte Luft weniger diatherman ist als trockne Luft, und Crown [2]), daß Feuchtigkeit, Rauch und sonstige Verunreinigungen der Luft die Absorption der Wärmestrahlen verstärkt — alles kaum zu vermeidende Fehlerquellen.

Fig. 69.



Die Temperatur des heißen Gebläsewindes wird häufig dadurch bestimmt, daß derselbe mit einer bestimmten Menge kalter Luft gemischt wird, so daß die Temperatur des Gemisches nun mit einem Quecksilberthermometer bestimmt werden kann. Bradbury [3]) sucht dieses dadurch zu erreichen, daß er heiße und kalte Luft unter demselben Druck in ein Gehäuse leitet, in welchem das Quecksilberthermometer eintaucht. Wenn man nach seiner Angabe den Querschnitt des

Fig. 70.

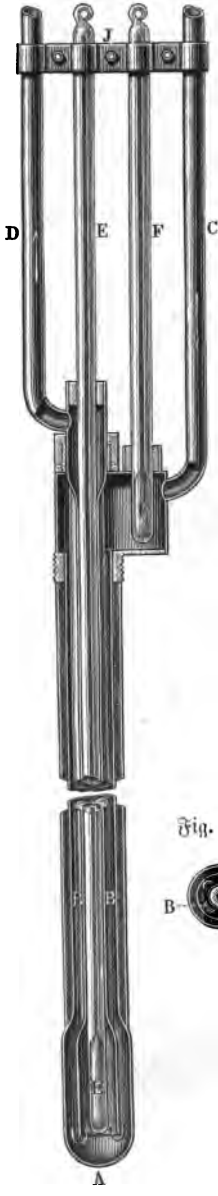


Kaltwindrohres 9 mal so groß nimmt als den des Heißwindrohres, so erhält

[1]) Pogg. Ann. **158**, 177; Dingl. 1876, **222**, 189. — [2]) Ann. chim. phys. **11**, 433; Dingl. 1878, **227**, 507. — [3]) Dingl. 1877, **223**, *620.

man die Temperatur des heißen Gebläſewindes, wenn man von dem 10fachen der Miſchtemperatur das 9fache der Temperatur des kalten Gebläſewindes abzieht, eine Angabe, die wegen der verſchiedenen Temperatur und der Reibungswiderſtände doch wohl nicht ganz richtig iſt.

Fig. 71.



Durch Einfachheit zeichnet ſich der auf dem Eiſenwerk Denain verwendete Apparat aus [1]). Durch das Rohr *a* (Fig. 69, a. v. S.) wird heiße Luft in das weitere Rohr *A* geblaſen, welche wie bei den bekannten Strahlgebläſen ſeitlich kalte Luft anſaugt; die Temperatur des bei *b* entweichenden Gemiſches wird durch das Thermometer *t* gemeſſen. In ähnlicher Weiſe tritt bei dem Pyrometer von Hobſon [2]) der heiße Wind durch das Rohr *A* (Fig. 70, a. v. S.) ein, welcher mittels einer entſprechenden Vorrichtung durch das Rohr *B* kalte Luft anſaugt. Die Temperatur des aus dem Rohre *D* austretenden Gemiſches wird durch das Thermometer *C* beſtimmt. Für beide Apparate iſt durch Vorverſuche feſtzuſtellen, in welchem Verhältniß die Temperatur des heißen Windes und die Angabe des Thermometers *C* ſtehen.

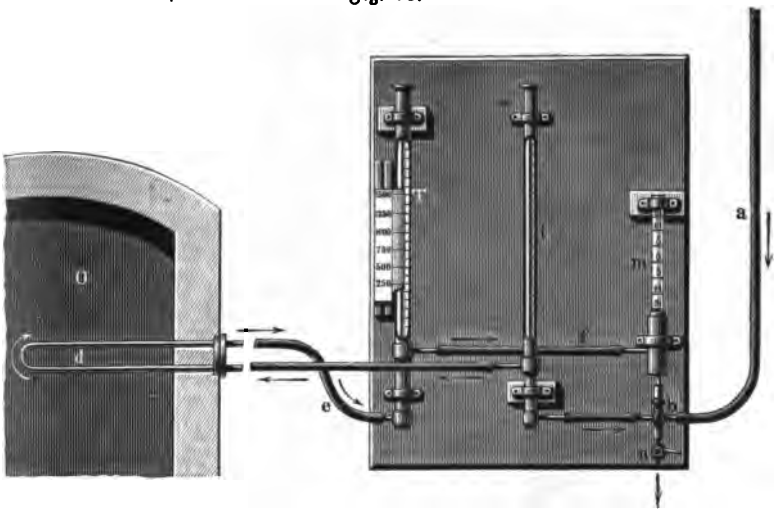
Das Pyrometer von Möller (D. R. P. Nr. 5882) beſteht im Weſentlichen aus einem kleinen Keſſel *A* (Fig. 71) und dem Halſe *B*, welcher dieſen mit dem Zuleitungsrohre *C* und dem Ableitungsrohre *D* verbindet. Dieſe Theile ſind aus dünnem Kupferblech hergeſtellt; der Keſſel *A* iſt außen vergoldet. Der Hals beſteht aus zwei concentriſchen Röhren, von denen die äußere cylindriſch, die innere, wie der Querſchnitt Fig. 72 zeigt, cannellirt iſt, unten aber cylindriſch ausläuft und hier die Kugel eines Thermometers *E* umſchließt, deſſen Glasrohr durch das cannelirte Kupferrohr nach oben geht. Beim Gebrauche wird der untere Theil des Apparates der zu meſſenden Temperatur ausgeſetzt, durch das Rohr *C* aber Waſſer eingeführt, deſſen Temperatur an dem Thermometer *F* abgeleſen wird. Das Waſſer fließt zwiſchen dem cannelirten inneren und äußeren Rohr des Halſes nach unten, wird an den Wandungen des Keſſels erwärmt, ſteigt im inneren Rohre, welches das Thermometer enthält, wieder nach oben und fließt durch das Rohr *D* ab. Die Temperatur wird aus der durch die beiden Thermometer *E* und *F* beſtimmten Wärmezunahme des durchfließenden Waſſers auf Grund vorheriger Verſuche berechnet.

Fig. 72.

[1]) Kerpely: Eiſen und Stahl (Leipzig, 1879), S. 21. — [2]) Dingl. 1876, 222, *46.

Daſſelbe Princip wendet Graf Saintignon (D. R. P. Nr. 5731) an. Durch das Rohr *a* mit Hahn *b* (Fig. 73) fließt ein gleichmäßiger Strom Waſſer zu, deſſen Temperatur durch das Thermometer *t* beſtimmt wird. Derſelbe geht

Fig. 73.



dann durch das im Ofen *O* liegende Kupfer- oder Porzellanrohr *d*, von hier durch das Rohr *e* zum Thermometer *T* und durch das Rohr *f* nach dem offenen Manometer *m*, um ſchließlich durch den Hahn *n* wieder abzufließen. Die Temperatur des Ofens wird hier ebenfalls aus der Wärmeaufnahme des Waſſers berechnet, wie ſie von den beiden Thermometern angezeigt wird.

Da es wohl kaum ein Waſſer giebt, welches nicht wenigſtens Spuren eines Niederſchlages abſetzt, der aber, wie auch jede noch ſo geringe Oxydſchicht oder Rußablagerung, die Wärmeübertragung beeinflußt, da es ferner ſehr zweifelhaft iſt, ob der Wärmeübergang der äußeren Temperatur proportional iſt, ſo wird man derartige Temperaturbeſtimmungen nur mit Vorſicht aufnehmen dürfen.

Beſonders häufig ſind hohe Temperaturen dadurch beſtimmt worden, daß man die von einem feſten Körper aufgenommene Wärme, welcher auf die zu meſſende Temperatur erhitzt war, durch Eintauchen auf eine größere Menge Flüſſigkeit vertheilte. Coulomb [1]) beſtimmte ſo die zum Härten von Stahl angewendete Hitze, Clement-Deſormes [2]) mittels einer in Waſſer getauchten Eiſenplatte die Temperatur der aus dem Schornſtein entweichenden Gaſe. Auch Gay-Luſſac [3]) empfahl, Metallringe der zu meſſenden Hitze auszuſetzen und aus der Temperaturzunahme des durch Einlegen der Ringe erwärmten Waſſers dieſelbe zu berechnen. Pouillet [4]) beſtimmte gleichzeitig hohe Temperaturen mittels einer 178 g ſchweren Platinkugel und Waſſer. Aehnliche Beſtimmungen führte Arago aus [5]).

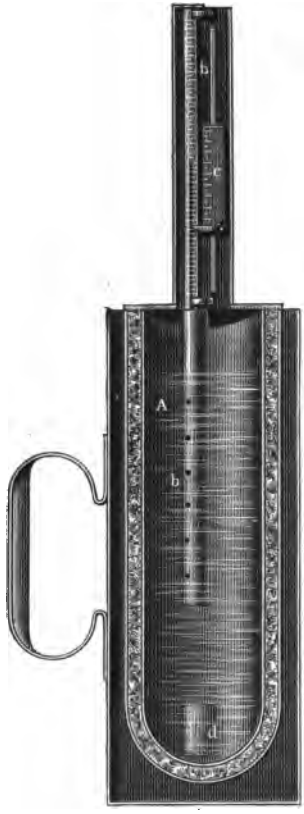
[1]) Pogg. Ann. **14**, 530. — [2]) Dingl. 1829, **33**, 145. — [3]) Dingl. 1837, **63**, 285. — [4]) Dingl. 1837, **63**, 219. — [5]) Ann. chim. phys. **64**, 334.

Miller[1]) kühlt den erhitzten Platincylinder in Queckſilber, ein Verfahren, welches L. Schwartz bereits im Jahre 1826 anwendete und von dem Schubarth[2]) zeigt, daß es ungenau iſt.

Wilſon[3]) verwendet wieder Waſſer mit Platin oder kleinen Thonſtücken. Auch Schinz[4]) beſpricht die Beſtimmung hoher Temperaturen mittels Platinkugel und Waſſer. Ein dieſem ähnliches Pyrometer hat ſich Byſtrom[5]) im Jahre 1862 in England patentiren laſſen.

Siemens nimmt wie Wilſon[6]) als Calorimeter ein Kupfergefäß A (Fig. 74) mit einer Pinte (568 ccm) Waſſer, welches zur Verminderung der Wärmeausſtrahlung mit zwei Gehäuſen umgeben iſt, wovon das eine Luft enthält, das andere aber mit Filz gefüllt iſt. Das durch eine durchlöcherte Metallhülſe geſchützte Queckſilberthermometer b hat neben der gewöhnlichen noch eine verſchiebbare Scala c, die mit 50 Graden auf je einen Grad des Thermometers graduirt iſt. Man ſchiebt nun den Nullpunkt der Pyrometerſcala c an den Temperaturgrad des Waſſers, welchen das Queckſilberthermometer angiebt, ſetzt einen Kupfercylinder d, deſſen Wärmecapacität genau $^1/_{50}$ von dem des mit Waſſer gefüllten Calorimeters beträgt, der zu meſſenden Temperatur aus und läßt ihn dann ins Waſſer fallen. Man erhält die geſuchte Temperatur, wenn man zu der an der Scala c abgeleſenen die Temperatur des Waſſers zuzählt.

Fig. 74.



Salleron[7]) füllt in ein ähnliches Calorimeter 500 ccm Waſſer, wirft einen auf die meſſende Wärme erhitzten 100 g ſchweren Kupfercylinder hinein und rührt um. Die Temperatur berechnet er mittels der Formel $T = 50\ (t' - t) + t'$. Hat z. B. vor dem Einſenken des Kupfercylinders das Waſſer im Calorimeter die Temperatur $t = 15^0$, nach Beendigung des Verſuches $t' = 25^0$, ſo iſt die geſuchte Temperatur $T = 50\ (25 - 15) + 25 = 525^0$. Da hier und bei dem Pyrometer von Siemens keine Rückſicht genommen iſt auf die bei höherer

[1]) Dingl. 1848, 108, *115. — [2]) Dingl. 1848, 110, 32. — [3]) Dingl. 1852, 125, *432. — [4]) Wärmemeßkunſt, 1858, S. 53. — [5]) Mechanics Journ. II, 8, 15. — [6]) Dingl. 1860, 158, *108. — [7]) Scient. Ann. 1875, *50.

Temperatur voraussichtlich zunehmende specifische Wärme des Kupfers, so sind die mit diesen Pyrometern erhaltenen Resultate wohl nicht genau.

Weinhold[2]) fand, daß sich beim Platin eine Zunahme der mittleren specifischen Wärme bis gegen 250° zeigt; dann nimmt dieselbe ab, später wieder zu (vergl. S. 64). Die specifische Wärme des Schmiedeisens wächst dagegen mit der Temperatur so regelmäßig, daß sie die Anwendung einer Interpolationsformel zuläßt. Die wahre specifische Wärme des Schmiedeisens bei der Temperatur t ist hiernach: $c_t = c_0 + \alpha t + \beta t^2$, die mittlere specifische Wärme zwischen t_1 und t_2:

$$\frac{W}{t_2 - t_1} = c_0 + \frac{\alpha}{2}(t_2 + t_1) + \frac{\beta}{3}\frac{t_2^2 + t_1^2 + (t_2 + t_1)^2}{2}.$$

Die Constanten sind $c_0 = 0{,}105907$, $\alpha = 0{,}00006538$ und $\beta = 0{,}00000066477$.

Schneider[1]) bedient sich dieser Formel zur Bestimmung hoher Temperaturen mittels einer schmiedeisernen Kugel. Er hat zu diesem Zweck eine Anzahl von Tabellen berechnet, welche S. 62 verkürzt wiedergegeben sind. Dieselben enthalten die von 1 kg Schmiedeisen abzugebende Wärmemenge, wenn dasselbe von der Temperatur T auf t_1 abgekühlt wird, also den Werth:

$$c_m\,(T - t_1) = \frac{(G_s + W)(t_1 - t_0)}{P}.$$

Soll z. B. die Temperatur T bestimmt werden, und hat man eine schmiedeiserne Kugel vom Gewichte $P = 14{,}352$ g auf dieselbe Temperatur erwärmt, und findet man, nachdem die Kugel im Calorimeter, dessen Wasserwerth 23,6 g ist und welches 1020,4 g Wasser von $t_0 = 16{,}4°$ enthält, eine Endtemperatur $t_1 = 18{,}8°$, so ergiebt sich die Temperatur T aus der Gleichung:

$$T - t_1 = \frac{(G_s + W)(t_1 - t_0)}{c_m P} = \frac{1044 \times 2{,}4}{14{,}352\, c_m},$$

in welcher c_m die mittlere specifische Wärme des Schmiedeisens innerhalb der Temperaturen T und t_1, also eine Function der noch unbekannten Temperatur T ist. Statt für c_m den oben angegebenen Werth in die Gleichung einzusetzen, deren Lösung sehr zeitraubend wäre, findet man leicht:

$$c_m\,(T - t_1) = \frac{1044 \times 2{,}4}{14{,}352} = 174{,}58 \text{ W.-E.}$$

Für t_1 ist die Differenz für 0,1° zwischen 10 bis 20° = 0,0107, 20 bis 30° = 0,0108, 30 bis 40° = 0,0108, somit $c_m\,(T - 19) = 174{,}601$ W.-E. In der Horizontalreihe für $t_1 = 19$ findet man für den zunächst kleineren Werth 170,87 die Temperatur 1050°. Mit Hülfe der unten angegebenen Differenzwerthe für 1° von T ergiebt sich für 174,60 — 170,87 der Zuschlag 3,73 : 0,253 = 15, also eine Gesammttemperatur von 1065°.

---

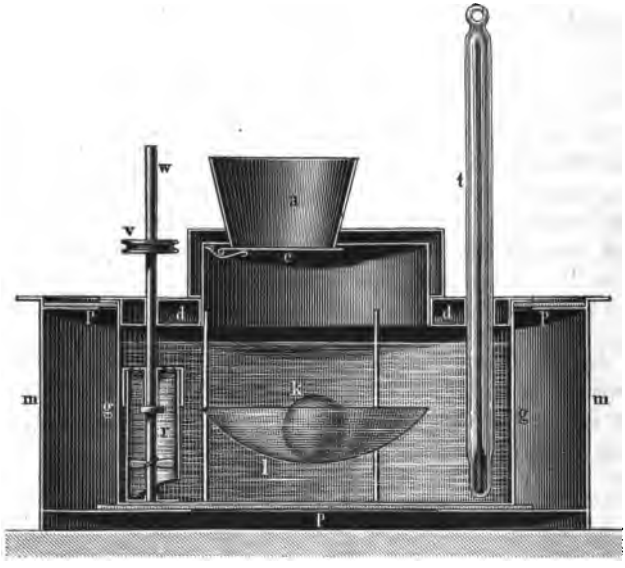
[1]) Programm der Gewerbsch. Chemnitz, 1873, 32. — [2]) Zeitschr. Ver. Deutsch. Ing. 1875, *16.

Die Differenzwerthe für $T = 1^0$ betragen für:

300 bis 350°	= 0,1342	700 bis 750°	= 0,1883
350 „ 400	= 0,1398	750 „ 800	= 0,1965
400 „ 450	= 0,1457	800 „ 850	= 0,2051
450 „ 500	= 0,1520	850 „ 900	= 0,2140
500 „ 550	= 0,1586	900 „ 950	= 0,2233
550 „ 600	= 0,1655	950 „ 1000	= 0,2329
600 „ 650	= 0,1728	1000 „ 1050	= 0,2428
650 „ 700	= 0,1803	1050 „ 1100	= 0,2530

Schneider hat das von Weinhold angegebene Calorimeter dahin abgeändert, daß das Calorimetergefäß *g* (Fig. 75) in ein größeres Gefäß *m* von Weißblech eingesetzt und gegen dasselbe durch starke Pappendeckel *p* isolirt ist, so daß zwischen den Wandungen der beiden Gefäße eine Luftschicht bleibt. Das

Fig. 75.

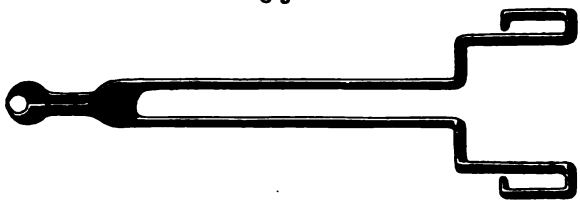


Gefäß *m* wird dann noch in einen Holzeimer eingesetzt. Der Deckel *d* trägt das Thermometer *t*, die Welle *w* des durch die Scheibe *v* in Umdrehung versetzten Rührers *r* und einen Aufsatz mit dem Trichter *a*. Die doppelt durchbohrte schmiedeeiserne Kugel *k* wird mittels der Zange Fig. 76 der zu messenden Temperatur ausgesetzt, dann in den Trichter *a* geworfen, worauf sich der Deckel *c* öffnet, die Kugel in das Sieb *l* fallen läßt und dann sofort wieder schließt.

Die von Weinhold und von Schneider angegebenen Calorimeter sind etwas schwerfällig, auch nicht hinreichend gegen Wärmeverluste geschützt; ich habe mir daher folgenden einfachen Apparat herstellen lassen, dessen Durchschnitt Fig. 77

in $^1/_3$ natürlicher Größe zeigt. Der 50 mm weite Cylinder *A* aus dünnem Kupferblech hängt in der Holzbüchse *B*. Der Raum zwischen Holzbüchse

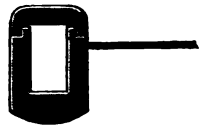
Fig. 76.



und Blechgefäß ist mit langfaserigem Asbest oder Glaswolle gefüllt. Der Apparat wird durch eine dünne Messingplatte geschlossen, welche eine größere Oeffnung *d* von 20 mm Durchmesser für den Rührer *c* und zum Einwerfen der Metallcylinder, sowie eine kleine Oeffnung für das Thermometer *t* hat. Das Normalthermometer von Geißler in Bonn, mit sehr kleinem Quecksilbergefäß

Fig. 77.

Fig. 78.



für 0 bis 50° ist in 0,1° getheilt, so daß man noch 0,01 Grade schätzen kann; es wird durch den Bügel *a* aus dünnem Kupferblech vor Zerbrechen durch den Rührer geschützt. Der Rührer besteht aus einer runden Kupferscheibe, welche an einen starken Kupferdraht gelöthet ist; derselbe ist oben in einen Glasstab eingeschmolzen, der als Handgriff dient. Das Kupfergefäß wiegt z. B. 35,905 g, der Rührer ohne Glasstab 6,445 g, daher Wasserwerth des Calorimeters (specifische Wärme des Kupfers 0,094) 3,98 g, mit dem Thermometer 4 g; als Kühlwasser verwendete ich 246 g, so daß der Wasserwerth des gefüllten Calorimeters 250 g betrug.

Zur Messung der Temperaturen benutze ich doppelt durchbohrte schmiedeiserne Cylinder von 13 mm Durchmesser und etwa 20 mm Länge, welche 20 g wiegen. Dieselben werden in einem bedeckten eisernen Gefäß (Fig. 78), welches an einem 0,5 bis 1 m langen eisernen Stiele mit hölzernem Handgriff befestigt ist, der zu messenden Hitze ausgesetzt, zum Calorimeter gebracht und nach Abheben

$T =$	300	350	400	450	500	550	600	650
$t_1 = 10$	34,250	40,959	47,949	55,235	62,833	70,762	79,036	87,674
11	34,143	40,853	47,842	55,128	62,726	70,655	78,929	87,567
12	34,036	40,746	47,735	55,021	62,620	70,548	78,823	87,460
13	33,929	40,639	47,628	54,914	62,513	70,441	78,716	87,353
14	33,823	40,532	47,521	54,807	62,406	70,334	78,609	87,246
15	33,716	40,425	47,414	54,700	62,299	70,227	78,502	87,139
16	33,609	40,318	47,307	54,593	62,192	70,120	78,395	87,032
17	33,502	40,211	47,201	54,486	62,085	70,013	78,288	86,925
18	33,395	40,104	47,094	54,379	61,978	69,907	78,181	86,819
19	33,288	39,997	46,987	54,273	61,871	69,800	78,074	86,712
20	33,181	39,890	46,880	54,166	61,704	69,693	77,967	86,605
21	33,074	39,783	46,772	54,058	61,657	69,585	77,860	86,497
22	32,966	39,675	46,665	53,950	61,549	69,478	77,752	86,390
23	32,858	39,568	46,557	53,842	61,442	69,370	77,644	86,282
24	32,751	39,460	46,450	53,735	61,334	69,262	77,537	86,174
25	32,643	39,353	46,342	53,628	61,226	69,155	77,429	86,067
26	32,536	39,245	46,234	53,520	61,119	69,147	77,322	85,959
27	32,428	39,137	46,127	53,413	61,011	68,940	77,214	85,852
28	32,321	39,030	46,019	53,305	60,904	68,832	77,107	85,744
29	32,213	38,922	45,912	53,197	60,796	68,724	76,999	85,637
30	32,105	38,815	45,804	53,090	60,689	68,617	76,891	85,529
31	31,997	38,706	45,696	52,982	60,580	68,509	76,783	85,421
32	31,889	38,598	45,588	52,873	60,472	68,400	76,675	85,312
33	31,781	38,490	45,479	52,765	60,364	68,292	76,567	85,204
34	31,672	38,382	45,371	52,657	60,255	68,184	76,458	85,196
35	31,564	38,273	45,263	52,548	60,147	68,075	76,350	84,988
36	31,456	38,165	45,154	52,440	60,039	67,967	76,242	84,879
37	31,348	38,057	45,046	52,332	59,931	67,859	76,134	84,771
38	31,239	37,948	44,938	52,224	59,822	67,751	76,025	84,663
39	31,130	37,840	44,830	52,115	59,714	67,642	75,917	84,554
40	31,023	37,732	44,721	52,007	59,606	67,534	75,809	84,446
41	30,914	37,623	44,612	51,898	59,497	67,425	75,700	84,337
42	30,805	37,514	44,503	51,789	59,388	67,316	75,591	84,228
43	30,696	37,405	44,394	51,680	59,279	67,207	75,482	84,119
44	30,587	37,296	44,285	51,571	59,170	67,098	75,373	84,010
45	30,478	37,187	44,176	51,462	59,061	66,989	75,264	83,901

700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
96,691	106,10	115,93	126,18	136,89	148,05	159,69	171,83	184,48
96,584	106,00	115,82	126,08	136,78	147,94	159,59	171,72	184,38
96,477	105,89	115,72	125,97	136,67	147,84	159,48	171,62	184,27
96,370	105,78	115,61	125,86	136,56	147,73	159,37	171,51	184,16
96,263	105,68	115,50	125,76	136,46	147,62	159,26	171,40	184,05
96,156	105,57	115,39	125,65	136,35	147,51	159,16	171,30	183,95
96,049	105,46	115,29	125,54	136,24	147,41	159,05	171,19	183,84
95,942	105,36	115,18	125,44	136,14	147,30	158,94	171,08	183,73
95,386	105,25	115,07	125,33	136,03	147,19	158,84	170,98	183,63
95,729	105,14	114,97	125,22	135,92	147,09	158,73	170,87	183,52
95,622	105,03	114,86	125,12	135,82	146,98	158,62	170,76	183,41
95,514	104,93	114,75	125,02	135,71	146,87	158,52	170,65	183,31
95,407	104,82	114,65	124,90	135,60	146,77	158,41	170,55	183,20
95,299	104,71	114,54	124,79	135,49	146,66	158,30	170,44	183,09
95,191	104,60	114,43	124,69	135,39	146,55	158,19	170,33	182,98
95,084	104,50	114,32	124,58	135,28	146,44	158,09	170,22	182,88
94,976	104,39	114,21	124,47	135,17	146,33	157,98	170,12	182,77
94,869	104,28	114,11	124,36	135,06	146,23	157,87	170,01	182,66
94,761	104,17	114,00	124,25	134,96	146,12	157,76	169,90	182,55
94,653	104,07	113,89	124,15	134,85	146,01	157,65	169,79	182,44
94,546	103,96	113,78	124,04	134,74	145,90	157,55	169,69	182,34
94,438	103,85	113,68	123,93	134,63	145,80	157,44	169,58	182,23
94,329	103,74	113,57	123,82	134,52	145,69	157,33	169,47	182,12
94,221	103,63	113,46	123,71	134,42	145,58	157,22	169,36	182,01
94,113	103,53	113,35	123,61	134,31	145,47	157,11	169,25	181,90
94,005	103,42	113,24	123,50	134,20	145,36	157,01	169,14	181,80
93,896	103,31	113,13	123,39	134,09	145,25	156,90	169,04	181,69
93,788	103,20	113,03	123,28	133,98	145,15	156,79	168,93	181,58
93,680	103,09	112,92	123,17	133,87	145,04	156,68	168,82	181,47
93,571	102,98	112,81	123,06	133,77	144,93	156,57	168,71	181,36
93,463	102,88	112,70	122,96	133,66	144,82	156,46	168,60	181,25
93,354	102,77	112,59	122,85	133,55	144,71	156,36	168,49	181,15
93,245	102,66	112,48	122,74	133,44	144,60	156,25	168,39	181,04
93,136	102,55	112,37	122,63	133,33	144,49	156,14	168,28	180,93
93,027	102,44	112,27	122,52	133,22	144,39	156,03	168,17	180,82
92,918	102,33	112,16	122,41	133,11	144,28	155,92	168,06	180,71

des Deckels *e* durch die Deckelöffnung *d* eingeworfen. Der Eisencylinder fällt regelmäßig auf die Platte des Rührers; durch Heben und Senken desselben wird die Wärme sehr rasch dem Wasser gleichmäßig mitgetheilt, so daß nach kaum einer Minute das Thermometer die Endtemperatur anzeigt. Correctionen wegen Verdampfung von Wasser oder Temperaturunterschiede der äußeren Luft sind nicht erforderlich, da die Verdunstung verschwindend klein, die Isolirung des Calorimeters aber so vollkommen ist, daß bei einer Lufttemperatur von 18,6° die Temperatur desselben von 25,1° innerhalb 2 Stunden auf nur 22,8° fiel. Die mit dem Apparat [1]) erzielten Resultate sind sehr befriedigend, und kann ich denselben namentlich auch für Reisen empfehlen [2]). Das Kühlwasser muß gewechselt werden, sobald dasselbe etwa 40° warm wird. Bei Bestimmung hoher Temperaturen ist es kaum zu umgehen, den eisernen Cylinder nach jedem Versuch abzuputzen und wieder zu wiegen, so daß man sich mit einer entsprechenden Anzahl derselben versehen muß. Um dieses zu vermeiden, habe ich auch Versuche mit einem 18,472 *g* schweren Platincylinder gemacht. Nach J. Violle [3]) ist die specifische Wärme des Platins zwischen 0 und 1200° $C_0{}^t = 0{,}0317 + 0{,}000006\,t$. Daraus ergeben sich folgende Werthe:

$C_0{}^{100} = 0{,}0323$	$C_0{}^{500} = 0{,}0347$	$C_0{}^{900} = 0{,}0371$
$C_0{}^{200} = 0{,}0329$	$C_0{}^{600} = 0{,}0353$	$C_0{}^{1000} = 0{,}0377$
$C_0{}^{300} = 0{,}0335$	$C_0{}^{700} = 0{,}0359$	$C_0{}^{1100} = 0{,}0383$
$C_0{}^{400} = 0{,}0341$	$C_0{}^{800} = 0{,}0365$	$C_0{}^{1200} = 0{,}0389$

Die wahre specifische Wärme des Platins $\frac{dQ}{dt}$ bei t° ist innerhalb derselben Grenzen $\gamma_t = 0{,}0317 + 0{,}000012\,t$, woraus sich ergiebt:

$$\gamma_{100} = 0{,}0329,\ \gamma_{500} = 0{,}0377,\ \gamma_{1000} = 0{,}0437,\ \gamma_{1200} = 0{,}0461.$$

Die Schmelztemperatur des Platins ergab sich mit Hülfe dieser Werthe zu 1779°, wird aber wohl noch etwas niedriger sein, da die specifische Wärme des Platins in der Nähe des Schmelzpunktes offenbar rascher wächst.

Die mit dem Platincylinder erhaltenen Angaben stimmen zwar gut, die Vortheile desselben entsprechen aber doch wohl nicht immer den Kosten (26,50 Mk.) eines solchen, im Verhältniß zu den Eisencylindern.

Nach den ferneren Versuchen von Violle [4]) schmilzt Palladium bei 1500°, mit einer latenten Schmelzwärme von 36,3 W.-E. Die mittlere specifische Wärme zwischen 0° und *t*° beträgt:

t	t	t
100 = 0,0592	500 = 0,0632	900 = 0,0672
200 = 0,0602	600 = 0,0642	1000 = 0,0682
300 = 0,0612	700 = 0,0652	1200 = 0,0702
400 = 0,0622	800 = 0,0662	1300 = 0,0712

---

[1]) W. Apel in Göttingen liefert den Apparat mit fünf Eisencylindern, aber ohne Thermometer, für 25 Mark. — [2]) Dingl. 1879, 232, 432; 233, 139. — [3]) Compt. rend. 85, 543. — [4]) Compt. rend. 87, 981.

entsprechend der Formel $0{,}0582 + 0{,}00001\,t$; die wahre specifische Wärme ist $= 0{,}0582 + 0{,}00002\,t$, somit bei $0^0 = 0{,}0582$, bei $1000^0 = 0{,}0782$. Des hohen Preises wegen wird sich aber Palladium kaum zu solchen Versuchen eignen.

Es dürfte sich noch fragen wie weit bei diesen calorimetrischen Bestimmungen die specifische Wärme des Wassers zu berücksichtigen ist.

Bekanntlich leitete Regnault aus seinen Untersuchungen folgenden Ausdruck für die specifische Wärme des Wassers bei t^0 her:

$$c_t = 1 + 0{,}00004\,t + 0{,}0000009\,t^2.$$

Nach dieser Formel ist die Aenderung mit der Temperatur so klein, daß man sie bei den gewöhnlichen Untersuchungen über specifische Wärme vernachlässigen darf.

Pfaundler, Hirn u. A. fanden dagegen wesentlich höhere Zahlen, Jamin und Amaury die Formel: $c_t = 1 + 0{,}0011\,t + 0{,}0000012\,t^2$. Aus den umfassenden Versuchen von Henrichsen[1]) ergiebt sich nun die wahre Wärmecapacität des Wassers bei t^0:

$$c_t = 1 + 0{,}0003156\,t + 0{,}000004045\,t^2.$$

Die specifische Wärme des Wassers ist demnach bei $10^0 = 1{,}0034$ und bei $20^0 = 1{,}0079$. Nach den neuesten Versuchen von Baumgartner[2]) ist $c_t = 1 + 0{,}000307\,t$, für 10^0 also 1,00307, für 20^0 1,00614, so daß also die Wärmecapacität des Wassers nahezu constant ist.

Für 100^0 ist die specifische Wärme des Wassers nach Regnault $= 1{,}013$, nach Jamin $= 1{,}122$, nach Stamo $= 1{,}125$, nach Münchhausen 1,030 und nach Henrichsen $= 1{,}071$, nach Baumgartner 1,0307.

Die verschiedene specifische Wärme des Wassers ist daher wohl nur bei wissenschaftlich genauen Temperaturbestimmungen zu berücksichtigen.

Zuverlässige Apparate zur Bestimmung hoher Temperaturen sind demnach nur das Luftpyrometer, das Siemens'sche elektrische Pyrometer und das Calorimeter mit Eisen- oder Platincylinder. Ersteres ist nur für wohl eingerichtete Laboratorien geeignet, muß aber auch ferner als Normalwärmemesser bezeichnet werden, das elektrische Pyrometer ist leider theuer und etwas schwierig zu handhaben, sonst aber recht gut, das zuletzt beschriebene kleine Calorimeter ist dagegen billig, leicht zu handhaben und zuverlässig, wenn auch für längere Versuchsreihen nicht so bequem als das elektrische Pyrometer.

---

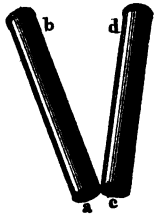
[1]) Ann. Phys. Chem. 8, 83. — [2]) Das. 8, 652.

Lichtmessung.

Geschichte. Nachdem schon Huygens versucht hatte das Licht der Sonne und des Sirius zu vergleichen, gab F. Maria [1]) an, daß man die Stärke eines Lichtes durch die Anzahl gefärbter Glasplatten bestimmen könne, die man aufeinanderlegen müsse um das Licht unmerklich zu machen. Lampadius [2]) stellte in gleicher Weise dünne Hornscheiben oder Papierblätter hinter einander auf, bis der leuchtende Gegenstand unsichtbar wurde, ein Verfahren, auf welches dann am 21. Mai 1875 M. Brown das englische Patent Nr. 1865 erhalten hat.

Bouguer [3]) verwendete zwei innen geschwärzte Röhren *ab* und *cd*, Fig. 79, welche bei *b* und *d* mit einer Glaslinse, bei *a* und *c* aber durch einen Deckel geschlossen waren, dessen kreisrundes 6 bis 8 mm weites Loch mit dünnem Papier oder einer matten Glasscheibe bedeckt war. Jede der Röhren wurde auf eine der zu vergleichenden Lichtquellen gerichtet, worauf man durch theilweises Bedecken der Glaslinsen den Lichteindruck bei *a* und *c* gleichmachte. Die Lichtstärken verhielten sich dann wie die Quadrate der nicht bedeckten Glasflächen. Aehnlich ist das Verfahren von Potter [4]) und das Lucimeter von Guerard [5]). Dieser Lichtmesser von Bouguer wurde dann dahin vereinfacht [6]), daß die Gläser bei *b* und *d* fortfielen, das auf die stärkere Lichtquelle gerichtete Rohr aber durch Ausziehen verlängert werden konnte, bis die Flecke bei *a* und *c* gleichstark erleuchtet waren; die Lichtstärken verhielten sich dann umgekehrt wie das Quadrat der Rohrlängen.

Fig. 79.



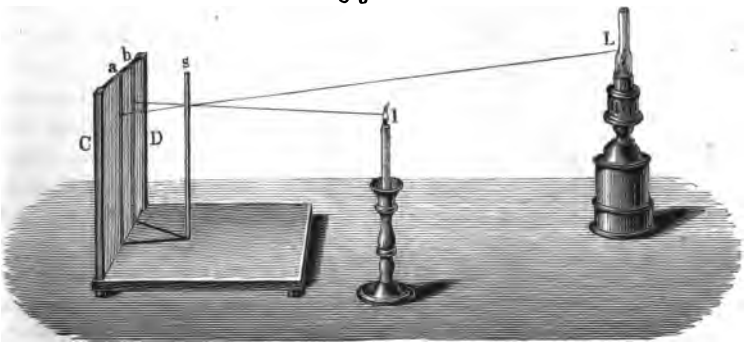
Celsius [7]) suchte die Lichtstärke durch die Entfernung zu bestimmen, aus welcher er noch fein gezeichnete Kreise erkennen konnte.

Lambert [8]) benutzte zuerst den Umstand, daß ein von zwei Flammen beleuchteter Gegenstand zwei Schatten wirft, die nicht gleich tief sind, wenn die Einwirkung der beiden Flammen auf die die Schatten auffangende Wand nicht ganz gleich ist. Es sei z. B. *CD*, Fig. 80, eine weiße Wand, vor welcher in einiger Entfernung der senkrechte berußte dünne und runde Eisenstab *s* steht, und *l* der eine, *L* der andere Lichtquell. Die beiden Lichte werden so gestellt, daß die

[1]) Nouvelles decouvertes sur la lumière (Paris 1700). — [2]) Beiträge zur Atmosphärologie (Freiberg 1817), S. 164. — [3]) Essai d'optique (Paris 1729). — [4]) Brewster, Journ. of scienc. III, 284. — [5]) Dingl. 1867, 185, 110. — [6]) Fischer: Physikalisches Wörterbuch 1800, Bd. 3, S. *887. — [7]) Hist. de l'Acad. de Paris 1735, 7. — [8]) Photometria (Augsburg 1760).

zwei Schatten *a* und *b* des Stabes *s* nicht zusammen, aber auch nicht weit von einander auf die Wand *CD* fallen. Es wird dann das stärkere Licht so weit von der Wand *CD* hinweggeschoben, bis die beiden Schatten *a* und *b* gleich tief sind, d. h. bis der Schatten *b* vom Lichte *L* so stark erleuchtet wird, als der Schatten

Fig. 80.



a vom Lichte *l*. Man beobachtet gewöhnlich in möglichst senkrechter Richtung auf die Wand *CD* von der Seite blickend, auf welcher sich die Lichte befinden, ob dies der Fall ist. Etwas genauer erkennt man aber nach dem Vorschlage von Pernot [1]) die vollkommen gleiche Tiefe der Schatten, wenn man die Wand *CD* aus durchscheinendem weißen Papier macht, sich hinter dieselbe stellt, und mit Hülfe eines Lichtes, das man nähert und entfernt, beobachtet, ob beide Schatten ganz gleichzeitig verschwinden beim Entfernen, und wieder sichtbar werden beim Nähern des Lichtes. Bezeichnet man nun die Entfernungen der Lichtquellen *l* und *L* vom Schirm mit *e* und *E*, so verhalten sich die Lichtstärken *i* und *J*, da die Intensität des Lichtes im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung abnimmt [2]), $i : J = e^2 : E^2$, folglich $J = i \frac{E^2}{e^2}$.

Dasselbe Verfahren wurde dann von Rumford [3]) und von Fox [4]) etwas abgeändert, ohne es jedoch zu verbessern. Da es minder scharfe Angaben zuläßt, als das Photometer von Bunsen, so wird es nur noch wenig angewendet.

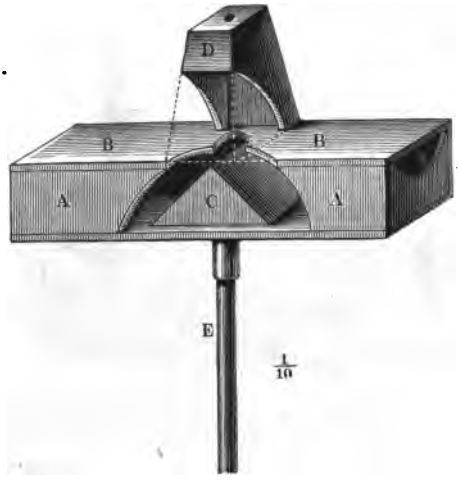
Leslie [5]) versuchte sein Differentialthermometer als Photometer zu benutzen; Ritchie [6]) verbesserte dieses Verfahren, ohne jedoch brauchbare Resultate erzielen zu können, da eben Licht und Wärme nicht proportional sind, wie bereits S. 46 gezeigt wurde.

Ritchie [7]) stellt in den Kasten *AB* (Fig. 81 a. f. S.) ein rechtwinkliges hölzernes Prisma *C* so auf, daß die Kante, in der sich die Seiten unter einem rechten Winkel schneiden, horizontal und zur Längsrichtung des Kastens senkrecht liegt. Gerade über der Prismenkante ist in der oberen Wand des Kastens *D* ein Loch

[1]) Dingl. 851, 119, 156. — [2]) Poggendorff 150, 551. — [3]) Gren's neues Journal d. Phys. 2, *15. — [4]) Dingl. 1831, 40, *340. — [5]) Kurze Nachrichten von Versuchen; übers. von Brandes (Leipzig 1823), S. 66. — [6]) Phil. trans. 1825, *141. — [7]) Dingl. 1831, 40, 51.

angebracht, von dem aus man gleichzeitig beide, mit weißem Papier überzogene Seitenflächen des Prisma sieht. Die zu vergleichenden Flammen stehen so, daß sie durch die seitlich angebrachten halbkreisförmigen Oeffnungen hindurch das Prisma *C* bescheinen. Man rückt auf einem horizontalen Brette die eine der Flammen so lange, bis die beiden Flächen von *C*, durch die Oeffnung bei *D* gleichzeitig besehen, ganz gleich hell erleuchtet erscheinen. Dies Instrument kann auf einen hohen Grad von Genauigkeit nicht Anspruch machen, namentlich werden Täuschungen leicht dadurch veranlaßt, daß die zu vergleichenden Flammen häufig verschiedene Färbung zeigen, was auch auf den beiden reflectirenden Flächen sichtbar wird und eine scharfe Vergleichung sehr erschwert, ein Uebelstand, der auch durch die Verbesserung dieses Apparates von Poppe[1]) nicht gehoben wird[2]).

Fig. 81.



Fyfe[3]) glaubt als Maßstab der Leuchtkraft des Leuchtgases die Größe der Verdichtung beim Mischen mit Chlorgas empfehlen zu können, Sommerville[4]) das specifische Gewicht. Lippowitz[5]) will die Lichtstärke durch die Größe der Pupille des menschlichen Auges messen, Wright[6]) dieselbe aus der Verdunkelung eines weißen Fleckes durch ein übergeschobenes Rohr ableiten. Sämmtliche Vorschläge sind unbrauchbar. Ebensowenig scheint bis jetzt das Radiometer brauchbare Resultate zu liefern[7]). Erdmann meint, die Leuchtkraft eines Gases sei proportional der Luftmenge, die erforderlich ist, die Leuchtkraft zu vernichten. Blochmann[8]) und Schilling[9]) zeigten bereits, daß dieses nicht der Fall ist.

Heeren[10]) verwendet zu Lichtmessungen für photographische Zwecke die Dunkelfärbung des Silberpapiers, Vogel[11]) zu gleichem Zweck chromirtes Papier, Verfahren, die nur für den angegebenen Zweck brauchbar sind.

Lichteinheit. Ganz besonders schwierig ist die Beschaffung einer überall gleichmäßigen Lichteinheit. Bis jetzt werden noch fast durchweg Kerzen von Paraffin, Stearin, Wallrath und Wachs angewendet. Diese Stoffe sind aber keine be-

---

[1]) Dingl. 1859, **151**, *432. — [2]) Vergl. das. 1873, **207**, 487. — [3]) Dingl. 1842, **84**, 439; 1851, **122**, 46. — [4]) Journ. f. Gasbel. 1876, 123. — [5]) Poggend. **61**, 141; **63**, 348. — [6]) Dingl. 1869, **192**, 77. — [7]) Dingl. 1875, **216**, 188; 1876, 220, *317. — [8]) Dingl. 1863, **169**, 136. — [9]) Gasbeleuchtung, S. 224. — [10]) Dingl. 1845, **96** 26. — [11]) Dingl. 1868, **188**, 226.

stimmten chemischen Verbindungen, sondern Gemische, so daß es kaum möglich ist, daß die Kerzen immer dieselbe Zusammensetzung und damit auch dieselbe Leuchtkraft haben. Zu dieser durch die wechselnde Zusammensetzung bedingten Ungleichheit der Flamme kommt aber noch die größere Fehlerquelle hinzu, welche von der ungleich raschen Verbrennung herrührt und durch die Beschaffenheit des Kerzenmaterials selbst, namentlich aber durch den Docht bedingt wird. Steht dieser in einem richtigen Verhältniß zur Dicke und zum Schmelzpunkt der Kerze, so bildet sich bekanntlich eine Vertiefung, aus welcher der in der Mitte stehende Docht das geschmolzene Kerzenmaterial aufsaugt und vergast. Ist er zu dick, so wird die Flamme zu breit, der Rand schmilzt zu rasch ab, die Kerze tropft und giebt meist kein ruhiges Licht. Ist der Docht aber zu dünn, so wird der Brennstoff zu langsam aufgesogen, dadurch aber der Vergasungsraum und damit auch die Flamme verkleinert, so daß auch jetzt wieder kein gleichmäßiges Licht zu erzielen ist.

Ueber den Einfluß der Dicke des Dochtes liegen umfassende Versuche von einer Commission des Vereins von Gas- und Wasserfachmännern Deutschlands vor [1]), welche für Paraffinkerzen, von denen 12 auf 1 kg gehen, bei einer 6- bis 7 stündigen Brennzeit im Durchschnitt von fünf Versuchen folgende Zahlen ergaben:

Zahl der Dochtfäden	Stündlicher Verbrauch in Grammen	Flammenhöhe in Millimetern
18	5,98 bis 6,50	39,8 bis 45,8
21	6,88 „ 7,10	44,6 „ 50,9
24	7,46 „ 7,85	48,3 „ 51,2
27	7,72 „ 8,40	51,9 „ 59,0
30	7,86 „ 8,70	53,0 „ 60,3
33	8,19 „ 8,90	55,0 „ 63,0
36	8,42 „ 8,78	55,4 „ 62,5

Das Endergebniß der Versuche war folgendes Verhältniß der Münchener Normalstearinkerzen, im Vergleich mit 24fädigen Paraffinkerzen (12 = 1 kg):

[1]) Journ. f. Gasb. 1871, 526, 556.

	Münchener Stearin	Paraffin
Stündlicher Materialverbrauch		
Durchschnitt sämmtlicher Beobachtungen	10,92 g	7,708 g
Größte Abweichung der Einzeldurchschnitte . . . +	1,28 „	0,192 „
—	0,79 „	0,242 „
„ „ „ Einzelbeobachtungen . . +	3,08 „	0,592 „
—	1,07 „	0,648 „
Flammenhöhe		
Durchschnitt sämmtlicher Beobachtungen	60,8 mm	51,2 mm
Größte Abweichung der Einzeldurchschnitte . . . +	6,6 „	3,8 „
—	8,0 „	2,7 „
„ „ „ Einzelbeobachtungen . . +	7,2 „	9,8 „
—	12,8 „	8,2 „

Das Paraffin stellte sich somit am günstigsten, während nach anderen Versuchen Wallrath und Wachs weniger gleichmäßig sind (vergl. später: Leistung der Leuchtstoffe). Der Verein stellte daher folgende Bedingungen für die deutsche Normalkerze fest:

Die Photometerkerze soll einen Durchmesser von 20 mm erhalten, genau cylindrisch und so lang sein, daß 12 Kerzen 1 kg wiegen. Die Dochte sollen in möglichster Gleichförmigkeit aus 24 baumwollenen Fäden geflochten sein und trocken für jeden laufenden Meter 668 mg wiegen; sie sind durch einen eingelegten rothen Faden von anderen Dochten abzuzeichnen. Das Kerzenmaterial soll möglichst reines Paraffin sein und von einem nicht unter 55° liegenden Erstarrungspunkt. —

In München gilt noch als Einheit die eben erwähnte Stearinkerze, welche aus einem Stearin mit 76 bis 76,6 Proc. Kohlenstoff angefertigt sein soll. Dieselbe verzehrt nach Schilling[2]) in der Stunde im Durchschnitt 10,4 g Stearin bei 52 mm Flammenhöhe.

Die englische Wallrathkerze hat einen aus 3 Strängen mit je 17 Fäden geflochtenen Docht; sie soll stündlich 120 Grains (7,78 g) Wallrath verzehren, wobei sie eine Flammenhöhe von 45 mm hat. Bei Messungen von Leuchtgasflammen wird dieses in dem Argandbrenner Fig. 105, S. 92, verbrannt und zwar stündlich 142 Liter.

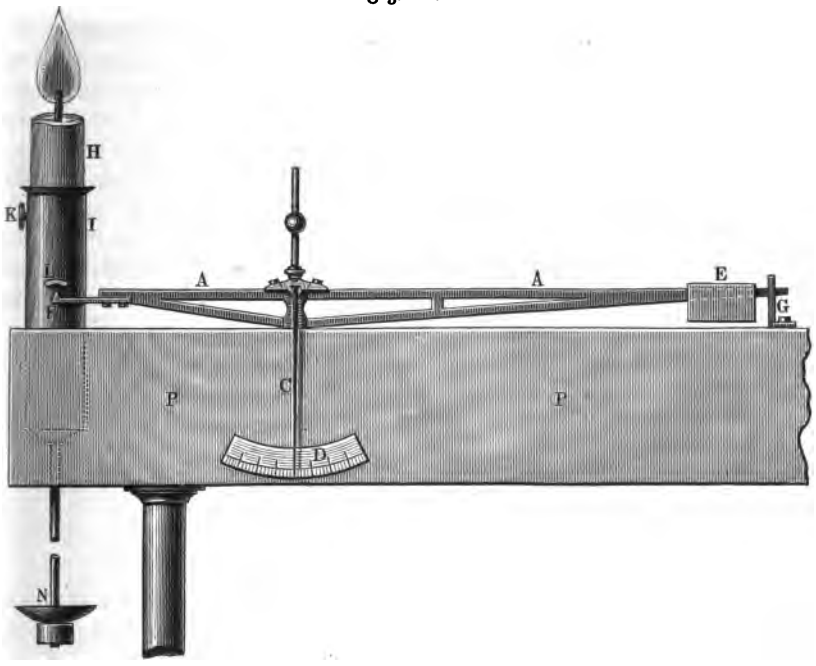
Verglichen mit der französischen Normalflamme (S. 73) ergaben sich nach den Versuchen von Schilling folgende Verhältnißzahlen:

[1]) Dingl. 1872, 206, 329; vergl. 1861, 160, 267; 1870, 198, 497. — [2]) Journ. f. Gasb. 1877, 190.

Pariſer Lampe	Engliſche Wallrathkerze	Vereins-Paraffinkerze	Münchener Stearinkerze
1,000	7,435	7,607	6,743
0,134	1,000	1,023	0,907
0,132	0,977	1,000	0,887
0,148	1,102	1,128	1,000

Wolfsberger[1]) hat einen Apparat conſtruirt, mit dem man die Größe der Flamme bequem meſſen kann; für gewöhnlich bedient man ſich hierzu eines hinter der Flamme aufgeſtellten Maßſtabes, oder aber eines gebogenen Drahtes von

Fig. 82.



entſprechender Länge (S. 70). Bei gleicher Flammenhöhe iſt die Lichtſtärke der verſchiedenen Kerzen übrigens immer noch keineswegs völlig gleich.

Um den Brennſtoffverbrauch einer Kerzenflamme zu beſtimmen, bedient man ſich einer gewöhnlichen Wage oder der Kerzenwage von Keates[2]). Die Normalkerze *H* (Fig. 82) wird mittels der Stellſchraube *K* in den Halter *I* befeſtigt,

[1]) Dingl. 1871, 200. *102. — [2]) Schilling: Gasbeleuchtung, S. 209.

welcher mittels der Stahlarme L auf der Schneide F des ungleicharmigen Wagebalkens A ruht, dessen langer Arm mit einer Arretirung G versehen ist. Das Ganze ist auf einem Ende des Photometerarmes P befestigt. Man bringt nun die Kerze in ihre richtige Höhe, zündet sie an und wartet bis ihre Flamme normal ist. Ist dieses erreicht, so schiebt man das Gewicht E auf dem langen Arm des Balkens langsam der Mitte zu, so daß der kurze Arm das Uebergewicht bekommt und der Zeiger C nach rechts ausschlägt. Mit dem weiteren Brennen der Kerze wird dieselbe wieder leichter, der kurze Arm hebt sich und der Zeiger rückt regelmäßig dem Nullpunkt der Scala D entgegen. Sobald dieses erreicht ist, beginnt die Rechnung für den Verbrauch der Kerzenflamme. Sind die photometrischen Beobachtungen beendigt, so wird die Kerzenflamme gelöscht, und auch dieser Augenblick wieder angemerkt, dann soviel Gewicht in die Schale N eingelegt, daß der Zeiger wieder auf Null einsteht. Das Gewicht entspricht dem Kerzenmaterial, welches während der angemerkten Zeit verbrannt ist.

Dem gleichen Zweck dient das Kerzenaräometer von S. Elster[1]). In einem mit Wasser gefüllten Glascylinder befindet sich ein Blechschwimmer, der eine dünne Messingstange und auf dieser eine Schale trägt, auf welcher die Kerze in einer Tülle befestigt ist. An der Schale ist seitlich ein Zeiger befestigt, welcher auf einer daneben stehenden senkrechten Scala spielt, an welcher man 10 mg noch deutlich ablesen kann. Beim Beginn des Versuchs beschwert man den Teller derart, daß der Schwimmer unter den Nullpunkt der Scala hinuntergeht. Die Beobachtung beginnt, sobald der Zeiger den Nullpunkt wieder erreicht hat.

In Frankreich ist auf Vorschlag von Dumas und Regnault (s. S. 80) als Lichteinheit die Flamme einer mit Rüböl gespeisten Carcel'schen Lampe (Fig. 83) angenommen, deren Größenverhältnisse folgendermaßen festgestellt sind[2]):

Aeußerer Durchmesser des Dochtrohres	23,5 mm
Innerer „ „ „	17,0 „
Durchmesser des äußeren Luftzugrohres	45,5 „
Höhe des Glascylinders	290,0 „
Entfernung der Verengung des Cylinders vom Fuße desselben	61,0 „
Aeußerer Durchmesser des Cylinders unterhalb der Verengung	47,0 „
„ „ „ „ am oberen Ende	34,0 „
Mittlere Dicke des Glases	2,0 „

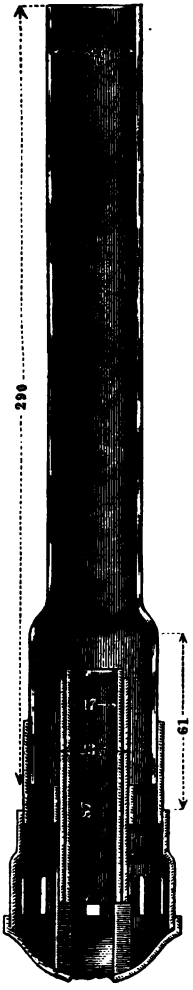
Der aus 75 Fäden geflochtene Docht soll trocken verwendet werden und für jeden Centimeter Länge 3,6 g wiegen. Zum Gebrauch setzt man einen neuen Docht ein, füllt die Lampe mit Oel bis zur Gallerie hinauf, pumpt das Oel auf und zündet die Lampe an. Der Docht wird 10 mm herausgeschroben, der Cylinder so aufgesetzt, daß die Verengung desselben 7 mm höher steht als der Docht, worauf dieser so eingeschraubt wird, daß jede Stunde genau 42 g Oel verbrannt werden, was meist mittels einer selbstthätigen Wage (Fig. 91, S. 79) geschieht.

Keates[3]) verwirft diese Anwendung von gereinigtem Rüböl zur Lichtein-

[1]) Dingl. 1870, 198, *493. — [2]) Journ. f. Gasb. 1877, 190. — [3]) Dingl. 1869, 194, *213.

heit, indem er mit Recht die ungleichmäßige Beschaffenheit dieses Oeles hervorhebt. Nach seinen Versuchen ist hierzu nur Wallrathöl von 0,88 specif. Gew. zu verwenden. Bei der von ihm verwendeten Modérateurlampe wird der regelmäßige Oelzufluß dadurch erreicht, daß im Dochthalter 12 mm unter dem oberen Rande eine Reihe Löcher oder Einschnitte angebracht sind, so daß von hierab nur die Capillaranziehung des Dochtes selbst zur Wirkung kommt. Die bei einem photometrischen Versuche verbrauchte Oelmenge wird mittels der S. 71 beschriebenen Wage ermittelt.

Fig. 83.



Edgerton [1]) verwendet eine Kerosinöllampe, läßt aber nicht die volle Flamme, sondern nur den Theil derselben auf das Photometer fallen, welcher durch das 12 mm im Durchmesser haltende runde Loch einer dunkeln Scheibe hindurchgeht. Oelverbrauch und Flammenhöhe sollen dann von nur sehr geringem Einfluß auf die Messungen sein.

Mehrfach hat man versucht, zur Herstellung der Lichteinheit eine Leuchtgasflamme zu verwenden; meist sind Einlochbrenner (S. 92), zuweilen aber auch Argandbrenner verwendet. Methven [2]) gebraucht als Lichteinheit einen Theil der leuchtenden Flamme desselben Gases, welches zu untersuchen ist, indem er von einer 3 Zoll (76 mm) hohen Flamme eines Argandbrenners den oberen und unteren Theil abblendet und als Normalflamme nur den Theil nimmt, welcher durch einen Spalt von 1 Zoll (25,4 mm) Länge und $^1/_4$ Zoll (6,3 mm) Breite hindurchgeht. Er behauptet, daß die durch diesen Spalt fallende Lichtmenge genau zwei englischen Wallrathkerzen entspreche, gleichviel, ob das verbrannte Gas 15 oder 35 Kerzenstärke habe, eine Angabe, welche jedenfalls zweifelhaft ist.

Blochmann [3]) schlug vor, zur Herstellung der Lichteinheit Wasserstoff zu verwenden, welcher durch eine bestimmte Menge Benzol leuchtend gemacht ist.

Harcourt [4]) will in ähnlicher Weise ein Gemisch von atmosphärischer Luft und Pentan verwenden. Letzteres wird aus dem amerikanischen Erdöl durch fractionirte Destillation bei 50° als eine Flüssigkeit von 0,6298 bis 0,63 specif. Gew. und 37 Dampfdichte ($H = 1$) gewonnen, die nur wenig Hexan enthält. Man mischt eine bestimmte Menge hiervon mit einer gemessenen Menge Luft, in welcher die flüchtige Flüssigkeit rasch und vollständig verdampft und läßt dieses Gemenge aus einem Brenner von bestimmter Weite unter bestimmten Druck- und Temperaturverhältnissen aus-

[1]) Dingl. 1878, 229, *48. — [2]) Journ. f. Gasb. 1879, 42, 690. — [3]) Dingl. 1863, 169, 136. — [4]) Chem. News 36, 103.

strömen, so daß innerhalb einer gewissen Zeit ein bestimmtes Gasvolum verbrennt und dadurch eine völlig ruhige Flamme von bestimmter Höhe entsteht. Die Luft wird in einem durch Wasser abgesperrten Gasometer abgemessen und das Pentan als Flüssigkeit durch eine mit Hahn versehene Trichtervorrichtung hineingebracht. Die mit der Temperatur wechselnde geringe Absorptionsfähigkeit des Wassers für Pentan verursacht keine in Betracht kommenden Fehler, wie Harcourt durch besondere Versuche zeigt. Ebenso erwies sich bei verschiedenen Temperatur- und Druckverhältnissen das Gemenge als ein vollkommenes Gas, welches keine Condensation erleidet, wenn man es nicht einer Temperatur von 4° und einem Druck von 1,2 Atmosphären aussetzt.

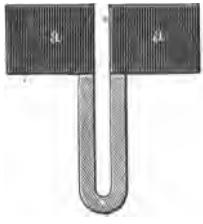
Folgendes sind die Zahlenwerthe, durch welche die neue Lichteinheit bestimmt ist: 600 Vol. Luft werden mit dem Dampfe von 1 Vol. flüssigen Pentans (entsprechend 210 Vol. Dampf bei 15,6°) gesättigt; der Durchmesser des messingenen Brenners ist $^1/_4$ Zoll engl. (6,3 mm), die Temperatur 15,6°, der Druck 30 Zoll engl. (762 mm); der Verbrauch beträgt in der Stunde $^1/_2$ Cubikfuß (14158 ccm) des Gemenges. Die dadurch erzeugte Lichtintensität entspricht der in England durch Parlamentsacte festgestellten Wallrathkerze (S. 70).

Wartha[1]) macht den Vorschlag, Aetherdampf, der aus einem in kochendem Wasser stehenden schmiedeisernen Gefäße entwickelt wird, zu verbrennen. Bei 3 bis 4 mm Wasserdruck im Brennerrohr soll die Flamme eines Schnittbrenners ruhig brennen und schön leuchten; nähere Mittheilungen darüber fehlen noch.

Draper[2]) verwendet einen 10 cm langen und 250 mg schweren Platindraht, welcher zu einer Spirale von 5 Gängen und 4 mm Durchmesser zusammengewunden ist. Der Rest des Drahtes wird parallel zur Achse der Spirale umgebogen und endet mit einem Haken, an welchem das Ganze in der Flamme des aus einer 1 mm weiten Oeffnung tretenden Wasserstoffgases so aufgehängt wird, daß der Draht den Brenner nahezu berührt. Ob hierdurch wirklich ein gleichmäßiges Licht erhalten wird, ist zweifelhaft.

Zuverlässiger ist jedenfalls die Lichteinheit von Schwendler[3]), welcher den bereits im Jahre 1859 von Zöllner gemachten Vorschlag einen durch Elektricität glühend gemachten Platindraht zu verwenden benutzt. Zur Erzielung eines gleichmäßigen Glühlichtes schneidet Schwendler das Platinstück aus einem Platinblech, wie es Fig. 84 in natürlicher Größe zeigt. Die Lappen *a* bilden alsdann die Elektroden zwischen den Leitungsdrähten und dem U-förmigen Platinstück, welches als Lichtquelle dienen soll. Die Lichteinheit wird nun durch einen Strom von 6,15 Weber'schen Einheiten erzeugt, den man durch einen 2 mm breiten und 36,28 mm langen, 0,017 mm dicken und 26,4 mg schweren Platinstreifen leitet, dessen berechneter Widerstand 0,109 und dessen bei 19° gemessener Widerstand 0,143 Siemens'schen Einheiten gleich ist. Um

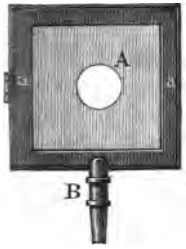
Fig. 84.



[1]) Berichte d. d. chem. G. 1874, 103. — [2]) Journ. f. Gasb. 1872, 410. — [3]) Journ. Asiatic Soc. of Bengal 1879, *83.

den Luftzug abzuhalten, wird die Vorrichtung mit einer hinten geſchwärzten Glocke aus dünnem Glaſe bedeckt, die nur unbedeutende Lichtmengen zurückhält.

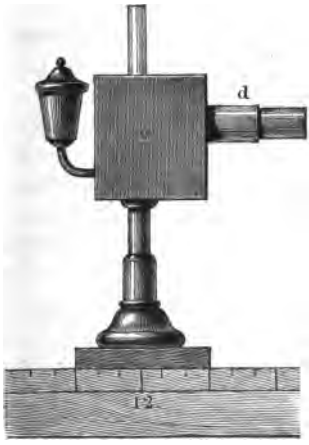
Fig. 85.



Die Lappen *a* werden mit ſtarken Kupferdrähten verbunden, in die Leitung aber ein Galvanometer und ein Queckſilberrheoſtat eingeſchaltet, mittels deſſen man leicht den Strom einige Zeit unveränderlich halten kann. Dieſer Vorſchlag verdient Beachtung.

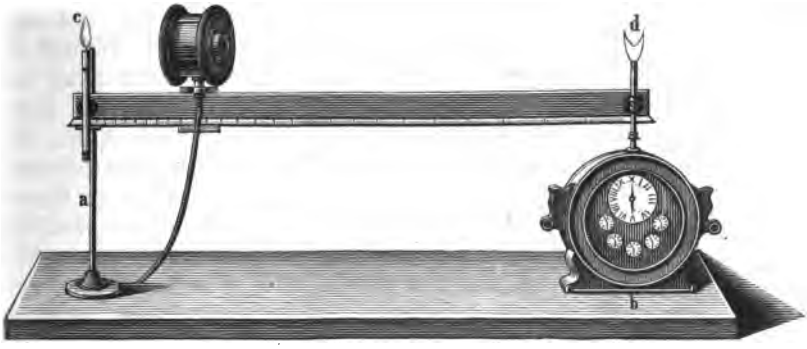
Lichtmeſſung. Weitaus am meiſten wird zur Meſſung der verſchiedenen Lichtquellen das Photometer von Bunſen angewendet. Daſſelbe beſteht im Weſentlichen aus einem in einen Rahmen *a* (Fig. 85) geſpannten Papierſchirm *A*, in deſſen Mitte ſich ein mit Wachs oder Stearin durchſcheinend gemachter Fleck oder Streifen befindet. Derſelbe erſcheint hell auf dunkelm Grunde, wenn der Schirm auf der Rückſeite ſtärker erleuchtet iſt als von der Vorderſeite, im umgekehrten Fall aber dunkel auf hellem Grunde. Der Fleck kann aber nicht gleichzeitig auf beiden Seiten des Schirmes völlig verſchwinden, wie Bohn[1]) gezeigt hat.

Fig. 86.



Figur 86 zeigt das Bunſen'ſche Photometer in ſeiner urſprünglichen Geſtalt. Als Lichteinheit diente eine in einem geſchwärzten Blechkaſten *c* befindliche Flamme einer Lampe. Die äußere Oeffnung des Auszugsrohres *d* iſt durch einen Papierſchirm verſchloſſen mit dem kleinen Stearinfleck in der Mitte. Um mit dieſer

Fig. 87.



[1]) Dingl. 1859, 154, *15.

Vorrichtung die Stärke einer Lichtquelle, z. B. Gasflamme, zu bestimmen, ermittelt man zuerst den Abstand l, in welchem man die Flamme der Normalkerze und dann den Abstand L, in welchen man die Gasflamme bringen muß, damit der Fleck verschwindet. Die Lichtstärke J ist alsdann $J = i \frac{L^2}{l^2}$, wenn i die Lichtstärke der Normalkerze bezeichnet.

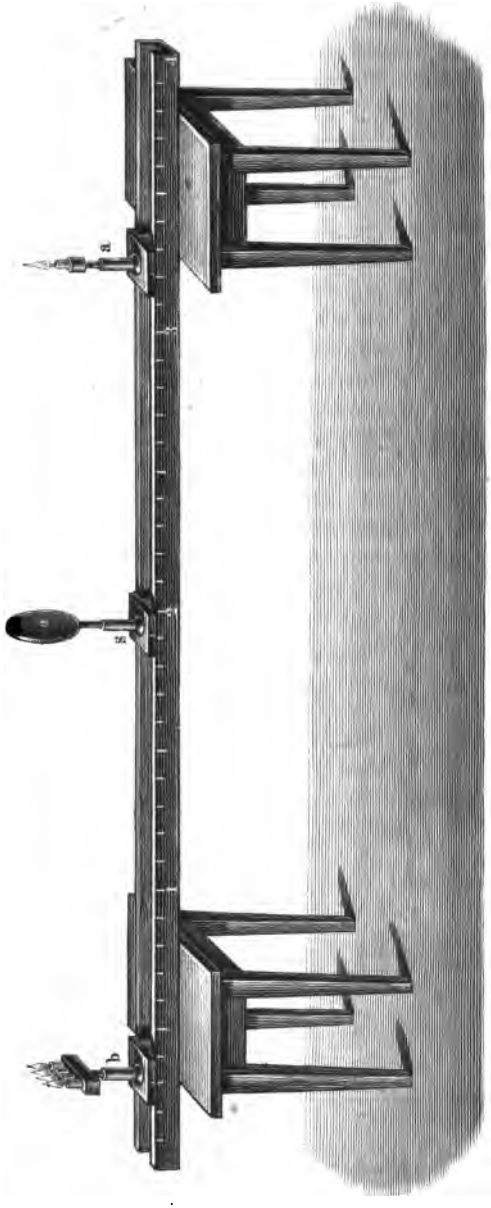


Fig. 88.

Desaga in Heidelberg führt diesen Lichtmesser in der Form aus, welche Fig. 87 (a. v. S.) versinnlicht.

An dem einen Ende einer horizontalen eingetheilten Schiene ist die Normalkerze c, an dem anderen Ende derselben ist die Flamme d angebracht, deren Leuchtkraft mit der der Normalkerze verglichen werden soll. Auf der eingetheilten Schiene ist ein cylindrisches Gehäuse verschiebbar, dessen kreisförmige Rückwand vollkommen undurchsichtig ist, während in der vorderen Wand das Papier mit dem Fettfleck angebracht ist. In der Mitte des Gehäuses befindet sich ein kleiner Gasbrenner, welchem das Leuchtgas durch einen dickwandigen Kautschukschlauch zugeführt wird.

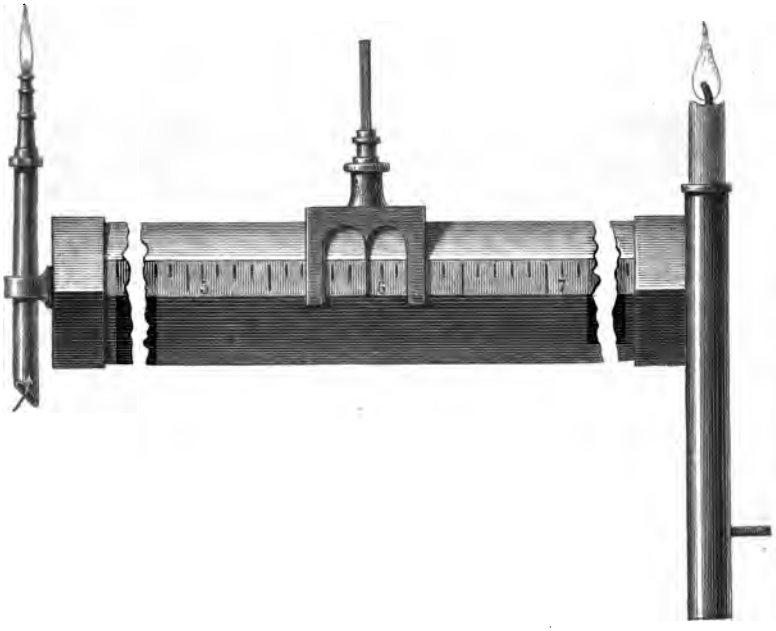
Nach der linken Seite hin kann dieses Gehäuse nur bis zu einer bestimmten Grenze geschoben werden, indem der Schieber, welcher das Gehäuse trägt, hier an

einer an der Schiene angebrachten Hervorragung anstößt. Dreht man das Gehäuse, wenn es sich an dieser Stelle befindet, aus der in der Figur dargestellten Lage um 180° herum, so daß das gefettete Papier der Normalkerze zugekehrt ist, so beträgt der Abstand der Kerze von dem Papierschirm 20 cm. Bei dieser Grenzstellung der Schiene nun wird der Zufluß des Gases zum Brenner im Inneren des Gehäuses so geregelt, daß der Fettfleck auf dem Papierblatt aufhört sichtbar zu sein.

Ist dies erreicht, so wird das Gehäuse wieder um 180° gedreht, so daß das Papier nun der Flamme *d* zugekehrt ist und dann der Schieber mit dem Gehäuse so weit nach rechts geschoben, bis der Fettfleck auf dem Papier abermals unsichtbar wird. Die Scala ist derart eingerichtet, daß man unmittelbar die Lichtstärken ablesen kann.

Da die in der Nähe befindlichen Flammen die Beobachtung erschweren, hat der Apparat folgende Verbesserung erhalten: In der oberen Hälfte der kreisförmigen verschlossenen Rückwand des cylindrischen Gehäuses ist eine etwa 3 cm

Fig. 89.



große runde Oeffnung und hinter dieser ein Spiegel im Winkel von 45° angebracht. Durch diese Vorrichtung kann die innere Seite des Papierschirms sehr bequem und ohne daß die Flammen belästigen, beobachtet werden.

Bei vergleichenden Versuchen darf entweder nur die innere oder nur die äußere Seite des Papieres beobachtet werden.

Wird der Papierschirm von beiden Seiten gleich stark beleuchtet, so wird der Fleck unmerkbar; wenn man daher ein solches Papierblatt zwischen zwei Licht-

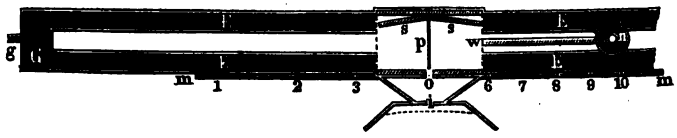
quellen so stellt, daß der Fleck fast ganz verschwindet, so entspricht diese Stelle dem Punkte gleicher Lichtstärke, deren Verhältniß durch die Abstände der Lichtquellen gegeben ist.

Eine diesbezügliche, sehr einfache Vorrichtung zeigt Fig. 88 (a. S. 76). Der als Lichteinheit dienenden Normalflamme *a* steht die zu messende Lichtquelle *b* gegenüber, der Schirm *s* wird so lange hin- und hergeschoben, bis der Fleck fast ganz verschwindet. Die Lichtstärken verhalten sich dann umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen vom Schirm; meist ist jedoch auch hier die Theilung der Schiene so gewählt, daß man die Lichtstärken unmittelbar ablesen kann.

Eine etwas bequemere Einrichtung dieses Apparates zeigt Fig. 89 (a. v. S.). Auf der viereckigen, etwa 3 m langen Holzstange ist ein Sattel mit der Papierscheibe verschiebbar, dessen Zunge sich über der Theilung der Stange bewegt. Die Blechhülse trägt die Normalkerze, welche in der Hülse durch den einen Schieber in der richtigen Höhe festgestellt wird, während die Hülse links den zu untersuchenden Lichtquell trägt.

Verfasser besitzt einen von Apel bezogenen Apparat, der wie die Draufsicht Fig. 90 ($^1/_5$) zeigt aus zwei, auf Füßen ruhenden Eisenschienen *E* besteht, auf welchen der in einen schwarzen an beiden Seiten offenen Blechkasten befestigte

Fig. 90.



Papierschirm *p* gleichzeitig mit der 25 cm entfernten Normalkerze, welche in der durch den Stab *w* mit dem Blechkasten verbundenen Hülse *n* steckt, verschiebbar ist. Wie der Durchschnitt des Blechkastens zeigt, ist zu beiden Seiten des Papierschirmes ein Spiegel *s* aufgestellt, so daß man durch die beiden runden Oeffnungen *i* und *o* in den Spiegeln gleichzeitig beide Seiten des Schirmes beobachten kann. Ein unter dem Blechkasten angebrachter Zeiger giebt auf der Holzschiene *m* direct die Lichtstärken der auf der Platte *G* aufgestellten Flamme an. Für die Untersuchung von Leuchtgas ist ein Zuführungsrohr *g* mit Regulirhahn angebracht. Selbstverständlich hat man bei allen Leuchtgasuntersuchungen mittels entsprechender Regulatoren, welche später ausführlich besprochen werden, für constanten Druck zu sorgen, auch zu berücksichtigen, daß die Leuchtkraft des Gases wesentlich mit von der Beschaffenheit der Brenner (s. diese) abhängt. Arbeitet man unter Abschluß des Tageslichtes in einem mattgrau angestrichenen Zimmer, so sind weitere Schutzvorrichtungen überflüssig. Sind Wände und Decken weiß, so werden hinter beiden Flammen dunkle Schirme aufgestellt; wollte man aber bei Tageslicht arbeiten, so müßte der Apparat mit einem Kasten umgeben werden. Minder handlich scheint mir die Form dieses Apparates zu sein, welche von Schickert ausgeführt wird, und welche Bothe[1]) als Tangentenphotometer beschreibt.

[1]) Dingl. 1867, 186, 451; vergl. Journ. f. Gasb. 1869, S. 283.

Foucault beleuchtet die zwei Hälften eines durchſcheinenden Schirmes, beſtehend aus einer matten Glastafel oder einer Schicht Stärkemehl zwiſchen zwei Glasplatten, einſeitig durch die beiden zu vergleichenden Flammen. Sind beide

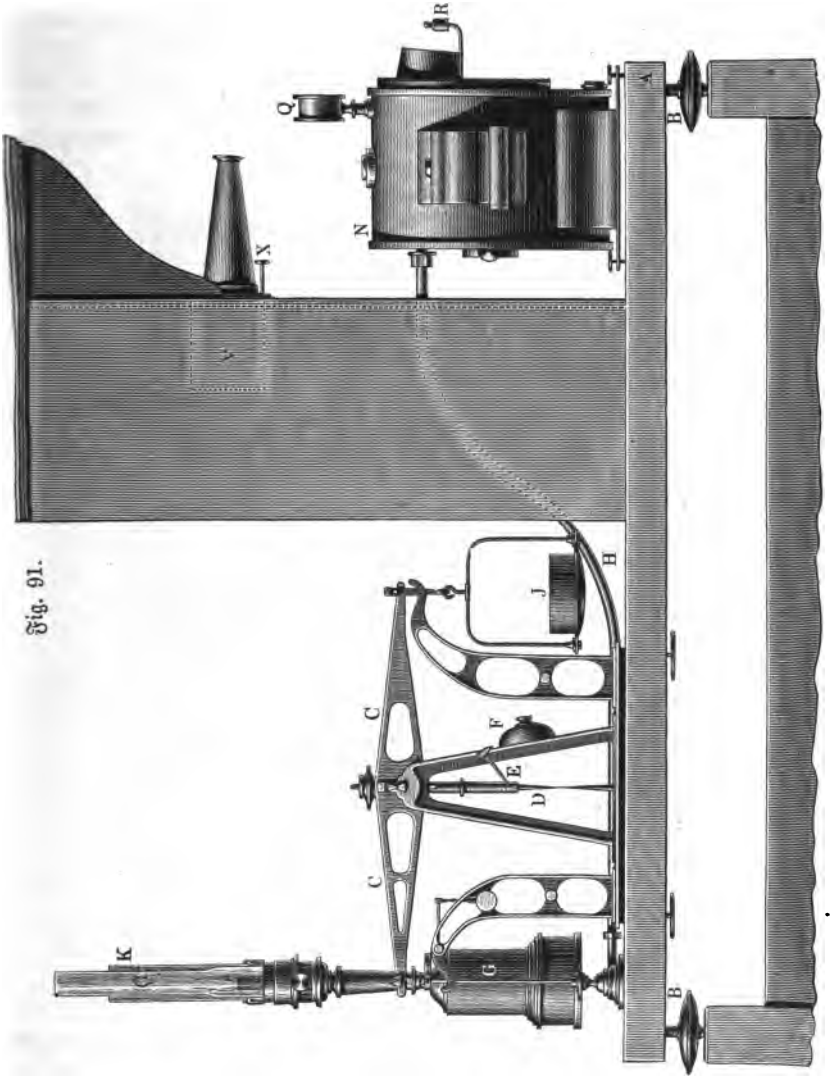


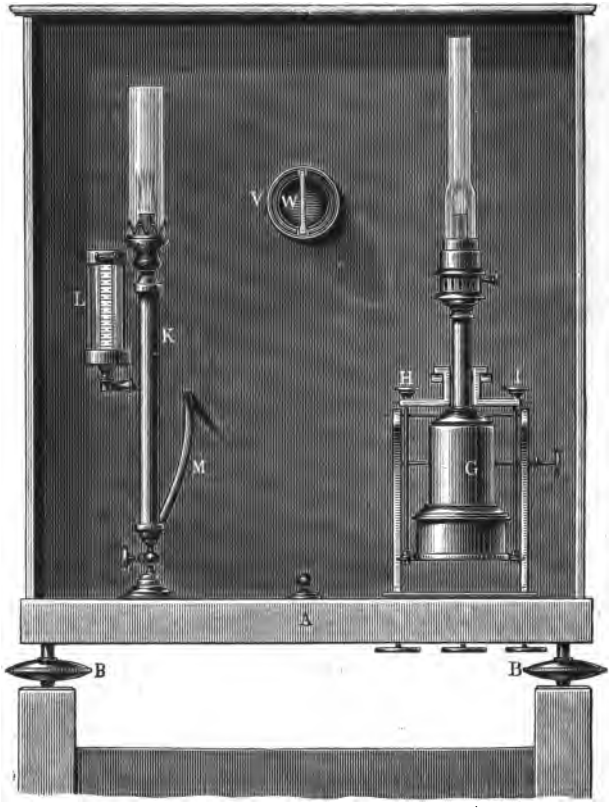
Fig. 91.

Hälften gleichbeleuchtet ſo ergiebt ſich die Leuchtkraft wie bei Ritchie (S. 69) aus dem Quadrat der Entfernung. Der Apparat iſt von Elſter[1]) angewendet, er

[1]) Dingl. 1870, 198, *490.

wird aber namentlich in Frankreich in der von Dumas und Regnault [1]) vorgeschlagenen Form gebraucht. Die Figuren 91, 92 und 93 zeigen die ganze Einrichtung in drei Ansichten, die Figuren 94 und 95 (S. 82) zwei vergrößerte Durchschnitte des Foucault'schen Photometers mit matten Glasscheiben und einem Fernrohr *T*. Die gegenseitige Lage der mattgeschliffenen und über einander beweglichen Glastafeln *U* kann mittels Mikrometerschrauben verändert werden. Sie sind in dem Rohre *V* eingeschlossen, welches durch die undurchsichtige senkrechte Zwischenwand *W* (Fig. 92) in zwei Fächer getheilt wird. Durch die mittels der Mikrometerschraube *y* verschiebbaren Metallplatten *X* können die beleuchteten

Fig. 92.



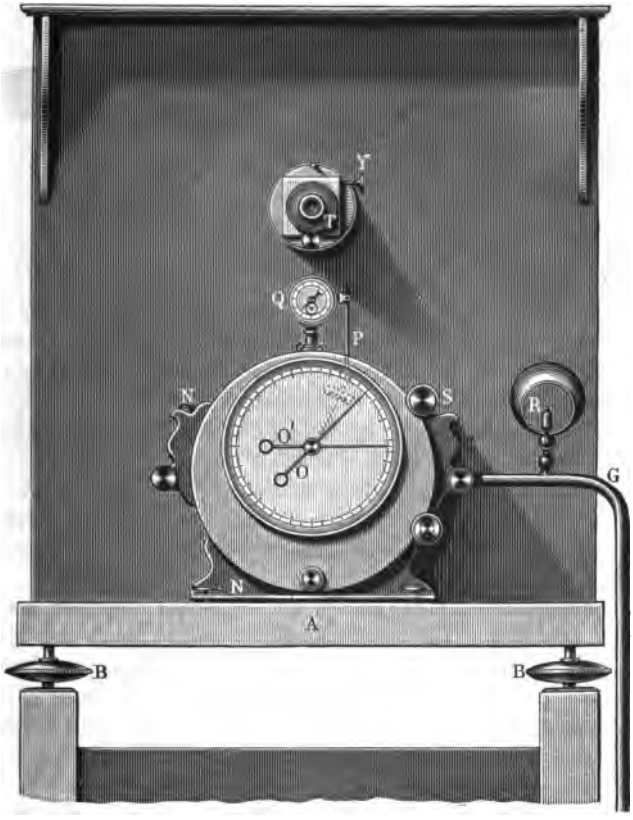
Glasscheiben geblendet werden, während die Stellung der Zwischenwand *W* durch die Schraube *x* geregelt werden kann.

Dem photometrischen Apparate sind in dem verfinsterten Versuchsraume auf derselben Grundplatte *A* (Fig. 91) die beiden Flammen in gleicher Höhe gegenübergestellt. Die an dem einen Ende des Balkens *C* der Deleuil'schen Wage hängende

[1]) Dingl. 1866, 180, *122; Bull. de la soc. d'Enc. 1878, *211.

Carcel'ſche Lampe *G* (S. 73) erhält das nöthige Oel mittels der Anſätze *H* und *I*, und wird durch das Gegengewicht *J* auf der anderen Schale in Gleichgewicht gebracht, während ein mit der Zunge *D* in eigenthümlicher Weiſe verbundener Hammer *E* durch Schläge auf die Glocke *F* die Gewichtsänderungen angiebt. Der mit Hahn und Druckmeſſer *L* verſehene Gasbrenner *K* (Fig. 92) iſt durch das Rohr *M* mit der Uhr *N* verbunden, welche durch das Rohr *G* (Fig. 93) mit Leuchtgas geſpeiſt wird. Die Gasuhr iſt mit zwei Zeigern verſehen, und zwar beginnt der Zeiger *O* ſeine Bewegung von dem Augenblicke an, wenn die Gasdurchſtrömung

Fig. 93.

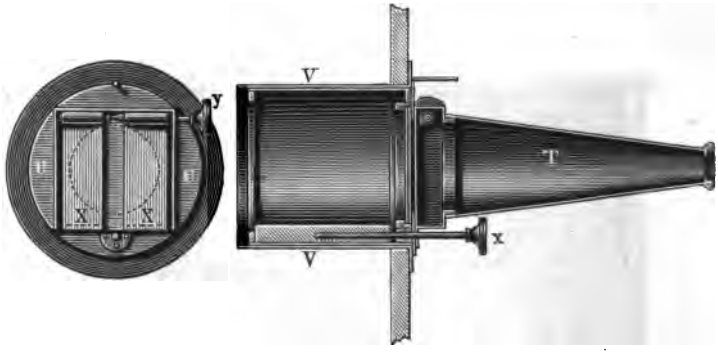


eintritt, und bewegt ſich ſo lange als letztere dauert, der Zeiger *O'* aber kann in jedem beliebigen Augenblicke, nämlich beim Beginne einer Beobachtung und am Ende derſelben, mittels des kleinen Hebels *P* ausgelöſt und arretirt werden; gleichzeitig kommt dann der die Dauer des Verſuchs in Minuten und Secunden angebende chronometriſche Apparat *Q* in Gang und wird beim Anhalten des Zeigers *O'* ebenfalls wieder ſtillgeſtellt. Jeder Theilſtrich des Zifferblattes der zeitweilig mit einem Gaſometer verglichenen Uhr entſpricht einem Zehntelliter.

Zur Beleuchtung der Zifferblätter beim Ablesen der Beobachtungszeit und des verbrauchten Gases dient der kleine Gasbrenner R, welcher während der Dauer des Versuchs mit einem Metallschirm bedeckt wird.

Um nun einen photometrischen Versuch auszuführen, zündet man beide Flammen an und unterhält dieselben während der Dauer von einer halben Stunde, indem man während dieser Zeit den Gasdruck regelt und den photometrischen

Fig. 94. Fig. 95.



Apparat einstellt bis die Helligkeit beider Flammen gleich geworden ist; dann wird die Carcel'sche Lampe nochmals genau tarirt. Nun wird mittels des Hebels P der Zeiger O' der Gasuhr und der chronometrische Apparat Q ausgelöst und werden beide Apparate so lange im Gange erhalten bis die Normalflamme 10 g Oel verzehrt hat — letzteres soll, wenn die Verbrennung gleichmäßig ist, in 14 Minuten 37 Secunden stattfinden —, worauf Secundenzeiger und Zeiger O' mittels des Hebels P wieder arretirt werden. Den angestellten Versuchen zufolge müssen für eine Gasflamme von contractmäßiger Lichtstärke in Paris bei normalem Gasdrucke 27,5 Liter Leuchtgas während derselben Zeit verbraucht sein.

Sillimann und Porter[1]) haben ein Photometer angegeben, welches dem von Ritchie nahe steht. Die Lichtstrahlenbündel werden durch zwei Blendungen $a\,a'$ (Fig. 96) von genau gleicher Oeffnung in das Innere des Instrumentes geleitet, woselbst sie auf zwei Flintglasprismen b gelangen, die so gestellt sind, daß das ohne Brechung an der vorderen senkrechten Fläche eintretende Strahlenbündel an der hinteren eine totale Reflexion erleidet und aus der oberen horizontalen Fläche austritt. Die zwei hell erleuchteten Scheibchen werden nun auf einer Blendung von matt geschliffenem Glase aufgefangen, welche in einer verfinsterten Kammer c ruht, 30 mm im Durchmesser. Fig. 97 stellt die Glasplatte in Ansicht dar, mit den beiden Lichtscheibchen d und d' in ihrer Lage gegen einander.

Ueber dieser finsteren Kammer c befindet sich eine senkrechte Röhre mit einem Oculare o; innerhalb derselben sind Diaphragmen von verschiedener Oeffnung und von verschiedenfarbigem Glase. Das ganze Instrument ist mit einem Fuße ver-

[1]) Dingl. 1858, 147, *302.

sehen, der eine höhere oder niedrigere Stellung mittels der Schraube *s* gestattet. Um endlich die Prismen unter den Winkel der vollkommenen Zurückwerfung stellen zu können, sind äußerlich Knöpfe *e* angebracht, mittels welcher eine sanfte Drehung möglich wird.

Man bringt nun die Ränder der beiden hellen Scheibchen nahe an einander, aber so, daß sie nicht über einander fallen. Das Instrument steht auf einem

Fig. 96.

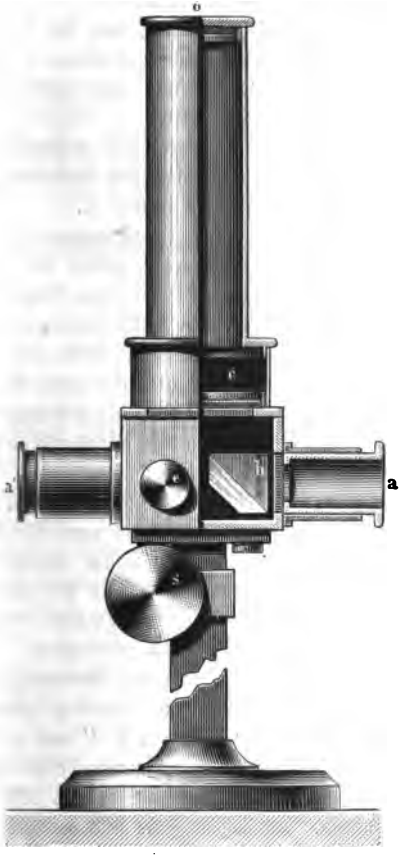


Fig. 97.

Schlitten, welcher längs eines mit einer Eintheilung versehenen Stabes verschoben werden kann, während die beiden zu vergleichenden Lichtquellen an den Enden des eingetheilten Stabes in gleicher Höhe befestigt sind. Das Instrument wird nun so lange verschoben, bis die Helligkeit der beiden Scheibchen eine gleiche ist. Es hat sich herausgestellt, daß ein gelblich grünes Ocular die vollkommenste Compensation für Farbenabweichungen gewährt, welche verschiedene Lichter bedingen.

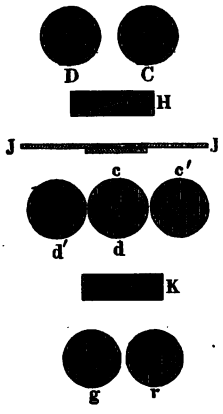
Beer [1]) verwandte zu Lichtmessungen einen eigenthümlichen Polarisationsapparat, der dann von Roudolf [2]) etwas abgeändert wurde. Babinet [3]) gab einen ähnlichen Apparat an, der dann von Crookes [4]) in nachfolgender Weise vervollkommnet wurde. Zur Erläuterung des Principes dieses Apparates zeigt Fig. 98 (a. f. S.) eine schematische Darstellung der einzelnen Theile dieses Lichtmessers.

Es sei *D* eine Lichtquelle, etwa eine durch künstliches oder natürliches Licht beleuchtete Scheibe von weißem Porcellan oder von Papier, *C* eine ebensolche in gleicher Weise beleuchtete Scheibe, deren photometrische Größen mit einander verglichen werden sollen. *H* ist ein achromatisches, aus Doppelspath angefertigtes,

[1]) Poggend. 86, *78. — [2]) Dingl. 1852, 125, *329. — [3]) Dingl. 1854, 131, *132. — [4]) Dingl. 1869, 192, *395.

doppelt brechendes Prisma, welches die Scheibe D in zwei in entgegengesetztem Sinne polarisirte Scheiben d und d' zerlegt, und zwar so, daß die Ebene von d vertical und die von d' horizontal polarisirt ist. Ebenso giebt das Prisma H zwei Bilder der Scheibe C, das horizontal polarisirte Bild c und das vertical polarisirte c'. Die Größenverhältnisse der Scheiben D und C, und das Zerlegungsvermögen des Doppelspathprismas H müssen so gewählt werden, daß das vertical polarisirte Bild d und das horizontal polarisirte c einander genau decken und, wie die Figur zeigt, eine zusammengesetzte Scheibe cd bilden, welche eine Hälfte des Lichtes von D und eine Hälfte des von C ausgehenden Lichtes enthält.

Fig. 98.



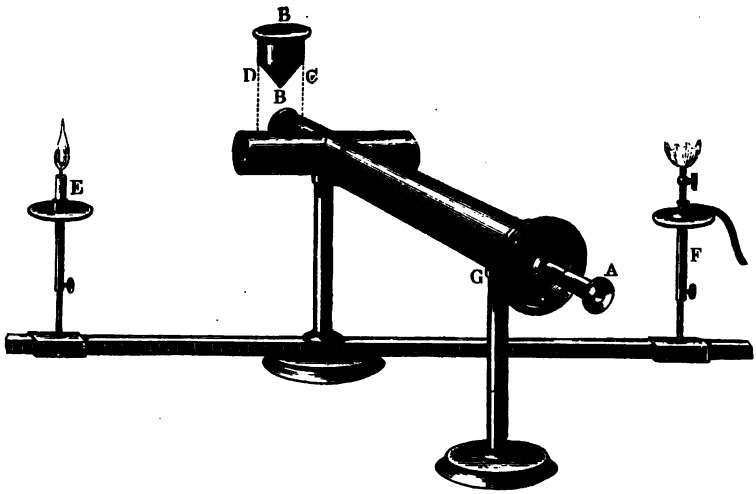
Durch Messung der Stärke des polarisirten Lichtes auf der Scheibe cd ergeben sich die relativen photometrischen Intensitäten von D und C.

Die Blendung J mit einer kreisförmigen Oeffnung in der Mitte ist gerade groß genug um cd sehen zu können, welche aber die seitlichen Scheiben c', d' dem Auge verbirgt. Vor dieser Oeffnung ist ein Gypsblättchen angebracht von solcher Dicke, daß es unter dem Einfluß polarisirten Lichtes ein rothes Bild und als Complementärfarbe Grün giebt. Ein dem Prisma H ganz gleiches doppelt brechendes Kalkspathprisma K ist in solcher Entfernung von der Blendenöffnung angebracht, daß die beiden Scheiben, in welche J dem Anscheine nach aufgelöst ist, von einander getrennt erscheinen, wie bei g und r. Wenn die Scheibe cd kein polarisirtes Licht enthält, so sind die Bilder g, r weiß, weil sie durch zwei Strahlen weißen Lichtes gebildet werden, welche in entgegengesetztem Sinne polarisirt sind; sobald aber eine Spur von polarisirtem Lichte in c und d ist, sind die beiden Scheiben g, r in Complementärfarben gefärbt, und der Contrast zwischen dem Grün und dem Roth ist um so stärker, je mehr polarisirtes Licht cd enthält.

Die Wirkung dieser Anordnung ergiebt sich durch folgende Betrachtung. Nehmen wir zunächst an, die beiden Lichtquellen C und D seien einander genau gleich. Sie werden durch das Prisma H jede in zwei Scheiben d, d' und c, c' zerlegt, und da die zwei polarisirten Strahlen, aus denen cd zusammengesetzt ist, einander auch an Stärke gleich sind, so neutralisiren sie sich gegenseitig und bilden gewöhnliches Licht, ohne Spur von Polarisation. In diesem Falle sind die beiden Lichtscheiben g, r ungefärbt. Nehmen wir nun an, die eine Lichtquelle, z. B. D, sei stärker als die andere C, dann werden die beiden Bilder d, d' lichtstärker sein als die beiden Bilder c, c' und der vertical polarisirte Strahl d wird stärker sein als der horizontal polarisirte Strahl c. Die zusammengesetzte Scheibe cd wird dann theilweise in polarisirtem Lichte erscheinen und die Menge des freien polarisirten Lichtes wird der Lichtmenge, um welche die Intensität von D größer ist als die von C, genau proportional sein. In diesem Falle wird das Bild des vor der Oeffnung der Blende J angebrachten Gypsspathblättchens durch das Prisma K in eine rothe und in eine grüne Scheibe zerlegt.

Die vollständige Zusammenstellung des Instrumentes zeigt Fig. 99. *A* ist das in Fig. 100 in vergrößertem Durchschnitte dargestellte Ocular, *GB* ein im Innern geschwärztes Messingrohr, welches an seinem dem Ocular entgegengesetzten

Fig. 99.

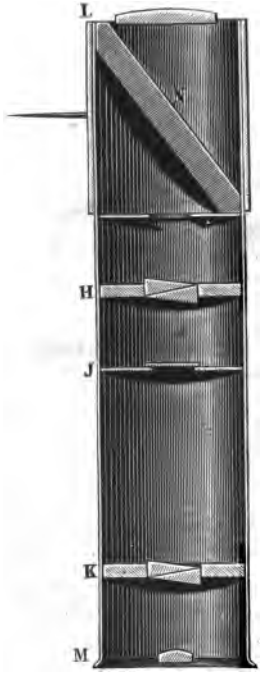


Ende *B* mit einem einzuschiebenden Einsatzstücke (bei *D*, *C* gesondert ersichtlich) versehen ist. Die schrägen Seiten *DB* und *BC* dieses Stückes sind mit einer weißen Fläche (Papier oder polirtes Porcellan) bedeckt, so daß, wenn *DC* in das Rohrende *B* eingesteckt ist, die eine dieser beiden weißen Flächen *BD* durch die Kerze *E* und die andere *BC* durch die Lampe beleuchtet werden kann. Wenn nun der Beobachter das Ocular abnimmt, so sieht er am Rohrende *B* eine weiße, leuchtende, senkrecht in zwei Theile getheilte Scheibe, deren eine Hälfte von der Kerze *E* und die andere durch die Lampe *F* beleuchtet ist. Verschiebt man nun z. B. die Kerze *E* auf dem Maßstabe, so kann man die Helligkeit der Hälfte *DB* beliebig abändern, während die der anderen Hälfte *BC* unverändert bleibt.

Die Einrichtung des in Fig. 100 (a. f. S.) abgebildeten Oculars *A* erklärt sich mit Hülfe der Fig. 98. Bei *L* ist eine Linse, um die von *BCD* (Fig. 99) kommenden Lichtstrahlen zu sammeln und das Bild an die gehörige Stellung des Rohres *BG* zu werfen. Bei *M* ist eine zweite Linse so angebracht, daß sie ein scharfes Bild von den beiden Scheiben giebt, in welche *J* durch das Prisma *K* zerlegt wird. Das Arago'sche Polarimeter *N* besteht aus einer Schicht von dünnen Glasplatten, welche sich um die Achse des mit einem Zeiger und einem getheilten Kreise versehenen Rohres (*AG*, Fig. 99) drehen läßt. Mittels dieser Glasplattensäule kann man die von den beleuchteten Scheiben kommenden Strahlen im einen oder im anderen Sinne polarisiren und auf diese Weise das theilweise polarisirte Strahlenbündel *cd* (Fig. 98) in den neutralen Zustand überführen, so daß die Bilder *gr* ungefärbt erscheinen. Dies Polarimeter wird so eingesetzt, daß es, wenn der Zeiger auf 0 steht, auf beide Scheiben eine gleiche Wirkung ausübt.

Der Apparat wird in folgender Weise angewendet. Nachdem die Normalkerze *E* auf einem der auf dem getheilten Stabe verschiebbaren Träger aufgestellt ist, bringt man sie auf die richtige Höhe und verschiebt sie auf eine geeignete Entfernung, welche von der Stärke des zu messenden Lichtes *F* abhängt, das auf dieselbe Weise auf der anderen Seite des Photometers befestigt wird. Der ganze Apparat muß sich in einem dunklen Raume befinden oder mit Schirmen umgeben werden, welche kein Licht reflectiren; ebenso muß das Auge vor den von den beiden Flammen kommenden directen Strahlen geschützt sein. Blickt man nun in das Ocular, so sieht man zwei glänzende Scheiben, wahrscheinlich von verschiedenen Farben. Man verschiebt nun die Flamme *F* auf dem getheilten Stabe, bis die beiden leuchtenden Scheiben, durch das Ocular beobachtet, beinahe dieselbe Färbung zeigen. Eine gleiche Helligkeit läßt sich leicht erhalten; denn da das Auge zwei leuchtende neben einander liegende Scheiben beobachtet, welche rasch von Rothgrün in Grünroth von einem neutralen nicht gefärbten Punkte aus übergehen, so ist es nicht schwierig, diesen Punkt mit großer Genauigkeit zu erfassen. Anstatt, daß man in dieser Weise eine solche völlige Gleichheit zu erreichen sucht, ist es jedoch bequemer und besser, die Flamme auf den Theilstrich des Stabes zu verschieben, auf welchem man dieser Gleichheit von der einen oder anderen Seite am nächsten kommt; man erhält dann die endliche Einstellung mittels des Oculars, indem man das Polarimeter im einen oder anderen Sinne über 45° dreht, bis die Bilder ohne eine Spur von Färbung erscheinen. Durch eine Reihe von Versuchen ist man im Stande den Werth jedes Winkels, welchen man die Glasplattensäule durchlaufen läßt, ein- für allemal zu bestimmen; die dann noch anzustellenden Berechnungen bieten keine Schwierigkeit dar; indem man die Entfernung, um welche die Lichtquellen von dem Mittelpunkte des Apparates entfernt sind, zum Quadrat erhebt, erhält man das annähernde Verhältniß ihrer Lichtstärken, und die Anzahl der Grade, um welche das Ocular gedreht worden, giebt die Zahl, welche hinzuaddirt oder subtrahirt werden muß, um die erforderliche Genauigkeit zu erhalten.

Fig. 100.



Mit Hülfe eines Photometers dieser Art ist es möglich, Flammen von verschiedenen Farben mit einander zu vergleichen, eine Aufgabe, welche durch Anwendung der früher besprochenen Lichtmesser kaum gelöst werden könnte. Nehmen wir mit Bezugnahme auf Fig. 98 z. B. an, die Scheibe *D* sei durch ein Licht von röthlicher Farbe und die Scheibe *C* durch ein grünliches Licht beleuchtet, so werden die polarisirten Scheiben *d' d* röthlich gefärbt erscheinen, die Scheiben *c c'* grünlich, und die centrale Scheibe *c d* wird eine aus der Vereinigung beider Bilder entstandene Färbung zeigen. Mittels des Analiseur *K* und der Gyps-

scheibe *J* ist man aber im Stande, freies polarisirtes Licht auf der Scheibe *cd*, wenn dasselbe farbig ist, mit derselben Leichtigkeit zu erkennen, als wenn es weiß wäre; der einzige Unterschied wird der sein, daß man die beiden leuchtenden Scheiben *gr* nicht auf eine gleichmäßig weiße Farbe bringen kann, wenn das von *D* und von *C* ausgegangene Licht gleiche Stärke haben, jene Scheiben werden aber eine der Scheibe *cd* ähnliche Färbung annehmen.

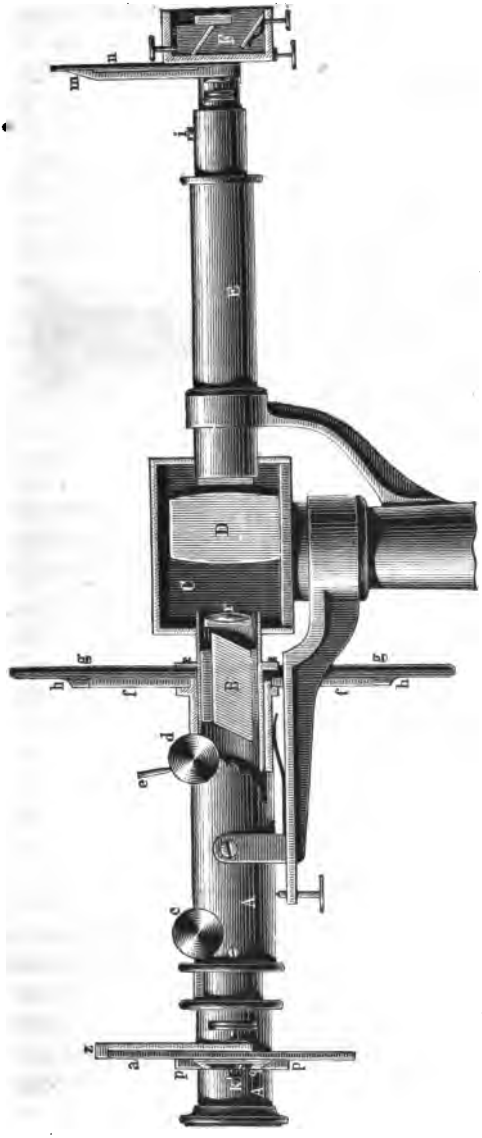


Fig. 101.

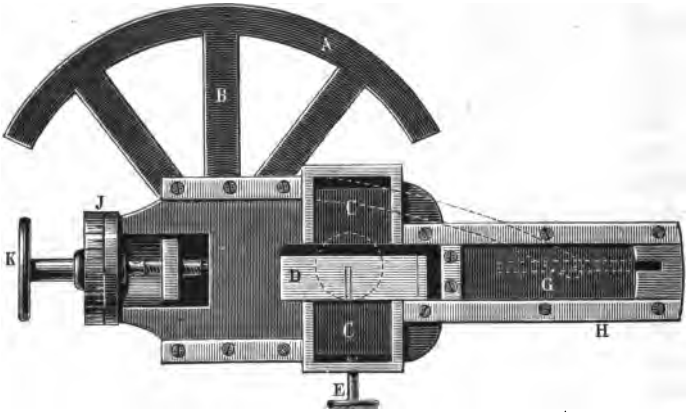
Hopkinson [1]) hat einen auf ähnlichem Princip beruhenden Apparat zur Messung der Lichtwirkungen der Leuchtthürme angegeben, auf welchen hier nur verwiesen werden mag, wie auch auf den Vorschlag von Dove [2]) zwei Lichtquellen mittels des Mikroskopes und eines Nicol'schen Prismas zu vergleichen.

Während die Grundidee zu spectralphotometrischen Bestimmungen schon von Lambert in seiner Photometrie (1760) ausgesprochen wurde, ist das Verfahren, mittels des Spectroskopes photometrische Bestimmungen auszuführen, doch erst in den letzten Jahren so vervollkommnet, daß es selbst wissenschaftlich genaue Resultate giebt.[3]). Besonders bemerkenswerth ist jedoch

[1]) Dingl. 1872, 205, *524. — [2]) Dingl. 1861, 162, 154. — [3]) Vergl. Compt. rend. 86, 878; 87, 322; Journ. de phys. 8, 85; Dingl. 1877, 226, 326.

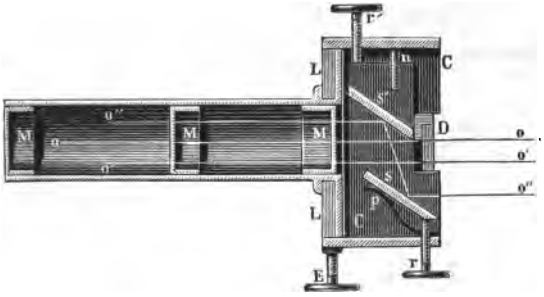
das neueſte Spectrophotometer von Hüfner[1]). Figur 101 (a. v. S.) zeigt den Apparat in $^1/_4$ ſeiner natürlichen Größe, nur iſt das Scalenrohr weggelaſſen, die Figuren 102 und 103 zeigen ausführlichere Darſtellungen einzelner Theile. Der vordere, die Ocularlinſen enthaltende Theil A' des Fernrohrs A in Fig. 101

Fig. 102.



trägt zunächſt an der Stelle des Fadenkreuzes eine Abblendungsvorrichtung. Dieſelbe beſteht, wie beim Vierordt'ſchen Apparate, aus zwei in einer Führung q beweglichen Schiebern s, deren jeder zur ſeitlichen Feſtſtellung auf ſeiner Unter-

Fig. 103.



lage mit einer Knopfſchraube k verſehen iſt. Die Führung q iſt aber ſelber beweglich; ſie läßt ſich ſammt den befeſtigten Schiebern mittelſt eines Excenters in der weiteren unbeweglichen Führung p horizontal hin und her bewegen und die ſeitlich angebrachte Alhidade a, ſowie der Zeiger z dienen dazu, den jeweiligen Stand des durch die Schieber gebildeten Spalts auf einer Gradtheilung zu markiren. Ein Zahnrad bei c endlich geſtattet eine bequeme und ſichere Verſchiebung des Ocularrohrs A' im weiteren Röhrentheile A.

Zunächſt dem Prisma D iſt in A abermals ein längeres Röhrenſtück eingefügt, das ſich aber nicht in der Richtung der Längsachſe verſchieben, ſondern nur

[1]) Journ. prakt. Chem. 16, *290.

um dieſelbe drehen läßt. Es enthält den Nicol *B* und die Objectivlinſe *r*. Die Drehung geſchieht durch die Handgriffe *g g*, welche bei *h* mit je einem Nonius verſehen ſind. Die feſte Scheibe *f* trägt die Gradtheilung für die Meſſung des Drehungswinkels. Dieſelbe beſitzt rechts und links je einen Nullpunkt und geſtattet mit Hülfe des Nonius eine Ableſung von 0,1 Grad. Der Nicol ſelbſt iſt ſo geſtellt und befeſtigt, daß das Geſichtsfeld die größte Helligkeit zeigt, wenn beiderlei Nullpunkte, diejenigen der Nonien und des Theilkreiſes, zuſammenfallen.

Da mittelſt der Handgriffe *g* nur die gröbere Einſtellung möglich iſt, ſo findet ſich zum Zwecke der feineren Einſtellung bei *d* eine Schraube ohne Ende, welche in einen gezahnten Kranz des inneren Rohres eingreift und für gewöhnlich durch eine Feder auf dieſen gepreßt wird. Soll der Nicol erſt mittelſt der Handgriffe *g* gedreht werden, ſo hat man die Schraube vorher aus dem Zahnkranze herauszuheben, was mittels des kurzen Hebels *e* geſchieht. Das Collimatorrohr *E* trägt nur vor dem Spalte eine beſondere Vorrichtung. Es iſt das Käſtchen *F* mit zwei unter dem Polariſationswinkel für Glas zur Achſe des Rohres geſtellten Spiegeln und einem Compenſationskeile aus Rauchglas, der ſich, von einer Feder feſtgehalten, mittels eines einfachen Triebwerks vor dem Spalte hin- und herſchieben läßt. Auch hier dienen eine mit Theilung verſehene Alhidade *n* und ein Zeiger *m* dazu, um den jeweiligen Stand des Keils zu markiren. Fig. 103 giebt eine vergrößerte Darſtellung des Käſtchens, hier mit *C* bezeichnet. *s* und *s'* ſind die beiden Spiegel, und zwar iſt *s* ein durch die Feder *p* und die Schraube *r* in beſtimmter Lage erhaltener, um eine Horizontalachſe drehbarer Stahlſpiegel, *s'* dagegen ein auf ein ſolides, gleichfalls um eine Horizontalachſe drehbares Meſſingſtück aufgekitteter Spiegel aus dunklem Glaſe. Die gewundene Feder *n* und die Schraube *r'* dienen zur Einſtellung in die beſtimmte Lage. *L* bedeutet die den lichtgebenden Spalt enthaltende Platte, an welche das ganze Käſtchen durch die Schraube *E* befeſtigt werden kann, und *D* iſt der verſchiebbare Glaskeil.

Bedeuten in der nämlichen Figur *o*, *o'*, *o''* ein Bündel paralleler Strahlen, die von rechts her auf das Käſtchen auffallen, ſo werden *o* und *o'*, ſo lange der Keil *D* noch nicht den Spalt bedeckt (Fig. 102 giebt die Frontanſicht der Vorrichtung; man ſieht hier durch den ſchraffirten Keil hindurch die untere Spalthälfte und kann ſich nun leicht den Keil ſo weit nach rechts verſchoben denken, daß der Spalt ſelbſt frei wird), ungehindert ihren Weg zwiſchen den Spiegeln hindurch zum Spalte fortſetzen; *o''* dagegen wird vom Stahlſpiegel nach oben, auf *s'*, geworfen und gelangt von dieſem vollſtändig polariſirt, aber auch bedeutend lichtſchwächer, zum Spalte. Sieht man alſo von links her durch das Rohr und die Blendungen *M* hindurch nach dem lichtgebenden Spalte, ſo erſcheint derſelbe in zwei unmittelbar an einander grenzende Hälften getheilt, deren eine, die untere, heller iſt und gewöhnliches Licht enthält, während die dunklere obere polariſirtes; und werden endlich beide Lichtbündel durch das Prisma in Farben zerlegt, ſo erhält man zwei ſcharf an einander grenzende, aber ungleich helle Spectren.

Der Compenſationskeil *D* ſtellt eine etwa 2 mm dicke, 15 mm breite und 40 mm lange, durchaus ebene und gleichmäßig dicke Glasplatte vor, die aus zwei ſorgfältig geſchliffenen Glaskeilen, einem aus Rauchglas und einem aus Flintglas, zuſammengekittet iſt. Da das Rauchglas niemals ganz farblos iſt, alſo die Spectralfarben

niemals gleichmäßig absorbirt, so hat man den Keil in den verschiedenen Spectralregionen ungleich weit vor den Spalt zu schieben, um je zwei Streifenhälften gleich hell zu machen. Dabei ist aber wohl zu bemerken, daß man die respectiven Lichtschwächungsvermögen des Keils selber durchaus nicht zu kennen braucht, insofern ja die Keildicke gar nicht als Maß bei der eigentlichen Photometrie benutzt wird. Fig. 102 dürfte den Mechanismus, durch welchen die Verschiebung geschieht, auch ohne besondere Erläuterung genugsam erkennen lassen. In der gleichen Figur sieht man auch noch eine Trommel J, welche dazu dient, die jeweilige Breite des Spalts in Millimetern ablesen zu lassen.

Ist durch irgend ein lichtabsorbirendes Mittel das eine Spectrum an bestimmter Stelle wesentlich verdunkelt, und will man deren Helligkeit mit der Helligkeit des homologen Bezirks im anderen Spectrum vergleichen, so hat man nur den Nicol so lange zu drehen, bis beide Felder gleich hell erscheinen. Aus der Größe des Drehungswinkels kann man das Intensitätsverhältniß beider Felder leicht ableiten.

Da man es nämlich bei der Anwendung von Nicol'schen Prismen immer nur mit einem der beiden polarisirten Strahlen, dem außerordentlichen, zu thun hat, so braucht, wie Zöllner gezeigt hat, nur das sogenannte Cosinusquadratgesetz als gültig vorausgesetzt zu werden, welches aussagt, daß sich jeder der Werthe E^2 und O^2 (E bedeutet die Amplitude des außerordentlichen, O diejenige des ordentlichen Strahls) proportional den Sinus-, resp. Cosinusquadraten des Winkels φ ändert, um welchen der Nicol gedreht wird. Bezeichnet man daher die Intensität des polarisirten Lichtstrahls vor der Drehung des Nicols mit J, seine Intensität nach der Drehung des Nicols mit J', so ist $J - J'$, d. h. die Intensität, welche der Strahl beim Durchgange durch den gedrehten Nicol verloren hat, $= sin^2\varphi$, und daher $J' = cos^2\varphi$.

Ist die Verdunkelung hervorgerufen durch eine lichtabsorbirende, 1 cm dicke Flüssigkeitsschicht, und will man deren Extinctionscoëfficienten erfahren, so hat man nur den Logarithmus von J', d. h. also von der übrig gebliebenen Intensität, negativ zu nehmen. Muß z. B. in einem Falle der Nicol, bis beide Felder gleich hell erscheinen, um 52^0 gedreht werden, so ist der gesuchte Extinctionscoëfficient: $\varepsilon = -\log J' = -2\log\cos 52^0 = -(0{,}57868 - 1) = -0{,}42132$.

Beim Gebrauche des Apparates sind indeß noch einige besondere Regeln zu beachten. Dieselben betreffen 1) die Art der Lichtquelle, 2) den Gang der Strahlen im Apparate, wie er durch das Spiegelkästchen bedingt wird, und endlich 3) die Qualität des Nicols und die genaue Feststellung des jeweiligen Drehungswinkels φ. Da die Spiegel unter dem Polarisationswinkel des Lichtes für Glas zur Axe des Collimatorrohrs gestellt sind, so ist vor allen Dingen gefordert, daß nun das Licht auch gerade unter diesem Winkel auf dieselben auffalle und nicht unter anderen. Wird aber eine leuchtende Flamme in die Nähe des unteren Spiegels gebracht, so werden begreiflicherweise, da von jedem leuchtenden Punkte der Flamme Strahlen nach allen Richtungen ausgehen, auch auf den Spiegel solche unter den verschiedensten Winkeln auffallen und von dort reflectirt werden; aber nur verhältnißmäßig wenige werden wirklich polarisirt werden und den Gang nehmen, welcher gewünscht wird. Man schaltet deswegen am besten zwischen Spiegel und Flamme

eine Linſe ein, welche die von jedem einzelnen Punkte der Flamme ausgehenden Strahlen parallel macht; und zwar wird zu dem Ende die runde Petroleumflamme mit einem geſchwärzten Thonmantel umgeben, der in gleicher Höhe mit dem hellſten Theile der Flamme eine Oeffnung beſitzt und ein Seitenrohr trägt, in welchem die Linſe verſchiebbar befeſtigt iſt. Steht die Flamme gerade im Focus der Linſe, ſo wird der gewünſchte Zweck erreicht ſein; wenigſtens wird dann eines der geſchloſſenen Bündel von Parallelſtrahlen vollkommen mit der Axe des Collimatorrohrs zuſammenfallen; auch werden etwaige Schwankungen in der Helligkeit des lichtgebenden Punktes ſich nur als geringere Helligkeitsſchwankungen einer gleichmäßig leuchtenden Scheibe bemerklich machen, und alle einzelnen Stellen der letzteren müſſen, wenn ſie es thun, ihre Lichtintenſität immer um gleichviel und gleichzeitig ändern, ſo daß namentlich ein Intenſitätsunterſchied zwiſchen dem Oben und Unten nicht möglich iſt.

Durch die Anwendung der beiden Spiegel wird, wie ſich aus Fig. 103 ergiebt, diejenige Strahlenhälfte, welche urſprünglich die untere war, noch vor dem Spalte zur oberen gemacht, und Strahlenbündel, welche urſprünglich benachbarte waren, wie o' und o'', werden eben dadurch auseinander gerückt. Dieſer letztere Umſtand erleichtert nun ganz weſentlich die Aufſtellung des Flüſſigkeitsbehälters vor dem Apparate. Während bei Anwendung des Doppelſpaltes ſehr viel darauf ankommt, daß die Grenze zwiſchen lichtabſorbirender Flüſſigkeit und Glaseinſatz genau mit der Grenze der beiden Schieber zuſammenfällt, iſt hier für die Einſtellung jener erſteren Grenze ein bequemer Spielraum gelaſſen, und in keinem Falle kann die nämliche Grenze das ſtörende Auftreten einer dicken dunklen Linie zwiſchen beiden Spectren veranlaſſen. Die Grenze zwiſchen den beiden Spectren bleibt hier immer der untere ſcharfe Rand des oberen Spiegels, der, wenn das Fernrohr *A* (Fig. 101) darauf eingeſtellt iſt, ſtets nur als dünne, zarte Linie erſcheint.

Der andere Umſtand, daß Spalt und Spiegelrand nicht in einer Ebene liegen, könnte dagegen Bedenken erregen; denn ſtellt man das Fernrohr ſcharf auf den Spiegelrand ein, ſo werden die Spectren, wenn man aber auf den Spalt einſtellt, ſo wird die Grenze weniger ſcharf erſcheinen. Zahlreiche Verſuche haben nun zwar gezeigt, daß man innerhalb der ſonſtigen Fehlergrenzen dieſelben Reſultate erhält, gleichgültig, ob man den einen oder den anderen Ausweg wählt. Da es indeſſen ſcheint, als ob das Gleichmachen der Helligkeit beider Felder raſcher gelänge, wenn die Grenze weniger ſcharf markirt iſt, ſo zieht Hüfner es vor, das Fernrohr auf einen Punkt einzuſtellen, der dem Spalte näher liegt, als der Spiegelgrenze.

Was nun aber die etwaige Unreinheit des Spectrums betrifft, ſo iſt ſie in der That ſchwerlich zu merken; denn es laſſen ſich ſelbſt in dem Falle, wo man die Grenze ſcharf erblickt, die wichtigeren Fraunhofer'ſchen Linien noch deutlich erkennen. Jedenfalls iſt die Forderung der Gleichartigkeit der Farbe beider Felder jederzeit ſtreng erfüllt.

Daß auf die Auswahl des Nicols die größte Sorgfalt verwandt werden muß, iſt von anderen Seiten ſchon oft hervorgehoben worden. Hier ſoll nur betont werden, daß, um den etwaigen Fehler in der Stellung des Nullpunktes zu corri-

MIM KAPH MIM LIBRARY
CHEM. BLDG. U. C

giren, man den Nicol, bis zur Herstellung gleicher Helligkeit oben und unten, nicht bloß nach der einen, sondern jedesmal auch nach der anderen Seite zu drehen hat, und daß immer erst das Mittel aus je zwei solchen, in verschiedenen Quadranten gemachten Ablesungen als einfache Beobachtung gelten darf. —

Derartige Apparate werden nun zwar bereits vielfach und mit bestem Erfolg zur quantitativen Bestimmung der in einer Flüssigkeit gelösten Stoffe benutzt, wegen ihres hohen Anschaffungspreises und ihrer schwierigeren Behandlung aber zu praktischen Lichtmessungen nur sehr selten.

Bei der weitaus am meisten ausgeführten Lichtmessung von Leuchtgasflammen kommt es oft weniger auf völlige Genauigkeit als auf Schnelligkeit der Bestimmung an. Für solche Zwecke ist das sogenannte Jet-Photometer von Lowe[1]) empfehlenswerth, welches auf der Eigenschaft der Einlochbrennerflamme beruht, daß bei gleicher Flammenhöhe der Gasverbrauch im umgekehrten Verhältniß, bei gleichem Verbrauch ihre Flammenhöhe im geraden Verhältniß zur Leuchtkraft steht. Auf einem sehr genau gearbeiteten multiplicirenden Druckmesser (s. d.) befindet sich ein Einlochbrenner

Fig. 104.

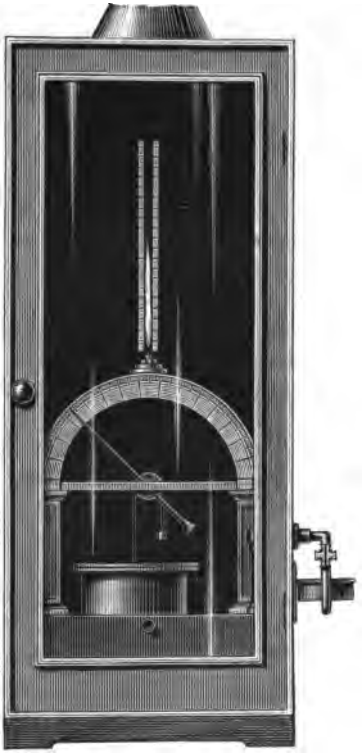
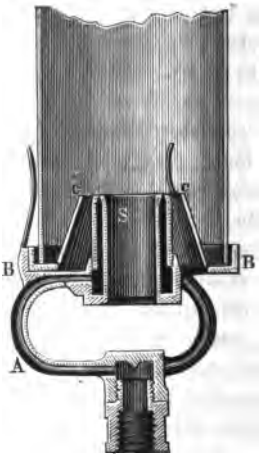


Fig. 105.



von Speckstein, dem das Gas durch einen kleinen, empfindlichen Druckregulator zugeführt wird. Das Ganze ist, wie Figur 104 zeigt, zur Abhaltung des Luftzuges in einen Holzkasten mit Glasthür eingeschlossen. Das Ablesen der Flammenhöhe geschieht an zwei Scalen, von denen die eine an der Glasthür, die

[1]) Schilling: Gasbeleuchtung, S. 219.

zweite auf einem emaillirten weißen Glas an der Rückseite des Kastens angebracht ist. Die Scala ist meist durch Vergleichung mit einem Bunsen'schen Photometer in Normalkerzen eingetheilt.

Nach Sugg [1]) kann man in entsprechender Weise den von ihm angegebenen Argandbrenner, den Fig. 105 in halber natürlicher Größe zeigt, verwenden; derselbe hat folgende Größenverhältnisse:

	engl. Zoll	Millimeter
Durchmesser der Röhren *A*, welche das Gas in den Brennerkörper führen	0,08	2,03
Aeußerer Durchmesser der Speckſteinkammer *s*	0,84	21,33
Innerer Durchmesser derselben	0,48	12,19
Anzahl der Löcher	24	
Durchmesser der Löcher	0,045	1,14
Innerer Durchmesser des Conus *c* unten	1,5	38,10
" " " " oben	1,08	27,43
Höhe der Oberkante des Conus und des Brennerkörpers über dem Boden der Gallerie *B*	0,75	19,5
Höhe des Glascylinders	6,0	152
Durchmesser des Glascylinders	1,875	47

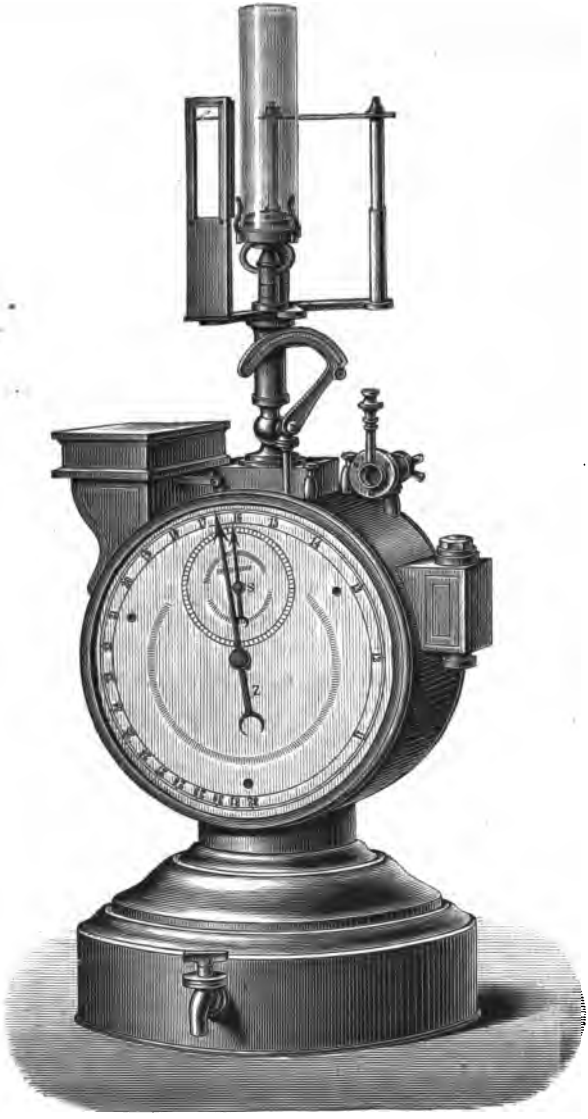
Das Sugg'sche Photometer (Fig. 106 a. f. S.) besteht nun aus einem solchen Argandbrenner auf einem genauen Gasmesser mit Regulator, welcher den Druck des Gases im Brenner während der Beobachtung constant hält. Es wird nun die Flamme auf die am Apparat angegebene Höhe eingestellt, worauf nach Beobachtung von einer Minute mittels des Secundenzeigers *s* der mit der Gasuhr verbundene Zeiger *z* die Lichtstärken in Wallrathkerzen direct angiebt.

Ganz besonders aber ist dieses Lichtmessungsverfahren von Giroud [2]) ausgebildet. Bei seinem sogenannten Photorheometer (Fig. 107) ist die Stange *a* hohl, ebenso der Conus, der sich nach unten durch das Rohr *a'* verlängert, dessen lichter Querschnitt gleich ist dem unteren Querschnitt der Oeffnung *D*. Das Rohr *a* mündet oberhalb der Glocke *d*, *a'* taucht in Glycerin, womit der untere Theil des Raumes *E* gefüllt ist, welcher durch die Säule *M* mit dem oberen Theile *A* des Regulators verbunden ist, und in welchen das Gas durch den Hahn *L* eintritt. Der an dem Manometer *N* zu beobachtende Druck oberhalb der Glocke bleibt unveränderlich (vergl. den Abschnitt d. Buches: Gasdruckregulatoren), er wirkt durch das Rohr *a* im Innern des Conus von unten nach oben und erleichtert dadurch den beweglichen Theil des Apparates. Der veränderliche Eingangsdruck übt keinen Einfluß in senkrechter Richtung aus, mit Ausnahme des Druckes, der sich durch das Glycerin auf die Wand des Rohres *a'* ergiebt. Dieser Druck ist ausgeglichen durch jenen Druck, der sich von oben nach unten auf die correspondirende Fläche des Conus ergiebt. Das Glycerin steigt im Rohre *a'* mehr oder weniger hoch, je nach der Höhe des Eingangsdruckes, da jedoch der Querschnitt

[1]) Journ. of Gasl. 1876, 161, *618; Americ. Gasl. J. 1878, *53. — [2]) Journ. f. Gasb. 1874, *129, 159; Technologiste 1879, *327, *372.

von a' gegen denjenigen von E verſchwindend klein iſt, ſo kann man die Fläche des Glycerins in E als conſtant betrachten.

Fig. 106.



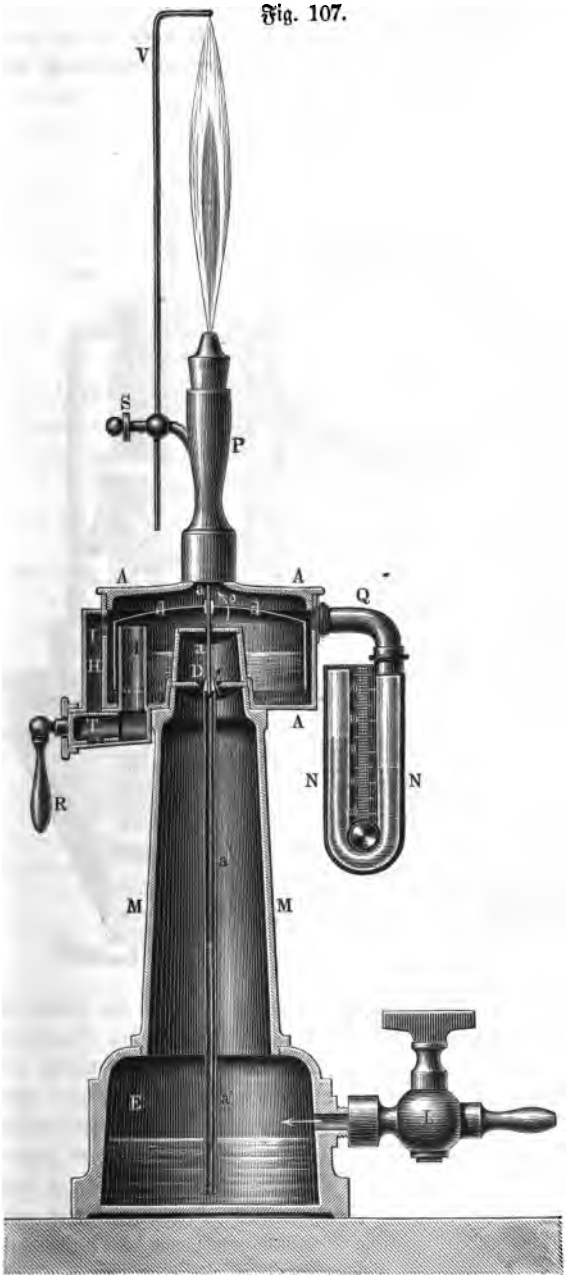
In der Stellung, in welcher die Abbildung den mit Handgriff R verſehenen Hahn T zeigt, iſt die Verbindung zwiſchen den inneren und äußeren Röhren H unterbrochen, ſo daß alſo nur durch die Oeffnung o Gas abgeht. Dreht man aber um 180°, ſo iſt die volle Verbindung hergeſtellt und kann man zwiſchen dieſen beiden Extremen jeden beliebigen Gasverbrauch herſtellen. Die Größe der Oeffnung o iſt ſo gewählt, daß ſie ſtündlich 38 Liter Pariſer Gas durchläßt. Der Einlochbrenner P auf dem Deckel giebt dann die Leuchtkraft einer Kerze, die Pariſer Normallampe (S. 73) zu 7,5 Kerzen angenommen, und eine Flamme von 105 mm Höhe, welche durch den kleinen Draht V gemeſſen wird.

Der Apparat dient als Normalflamme, dann aber zur Prüfung der Veränderung der Leuchtkraft, indem man die Flamme in gleicher Höhe hält, worauf dann die Leuchtkraft des Gaſes ſich umgekehrt verhält wie der Gasverbrauch.

Der in Fig. 108 (a. S. 96) dargeſtellte Gasprüfer beſteht im Weſentlichen aus den beiden Photorheometern A und D und der Gasuhr C. Das erſte Photo-

rheometer regelt den Druck, unter welchem das Gas gemeſſen wird, das zweite das Volumen, welches ausſtrömen muß, wenn das Gas normal iſt. Der Meßdraht *p* an dem letztern Apparat läßt die Abweichungen erkennen, und die Gasuhr die Schwankungen im Verbrauch.

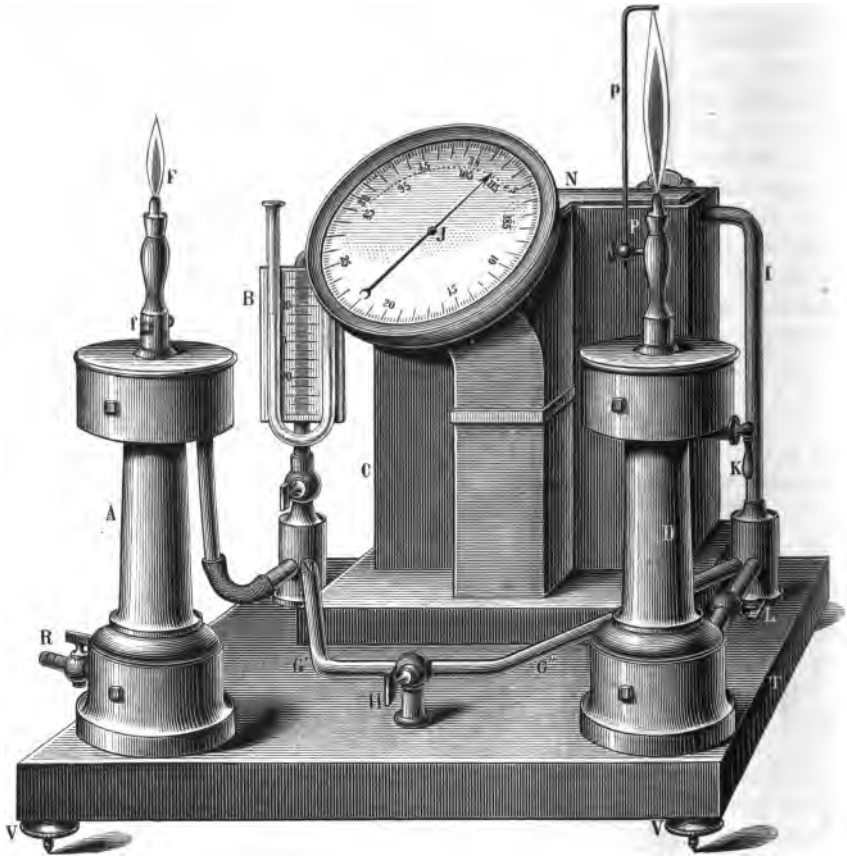
Fig. 107.



Das Gas tritt zum Photorheometer *A* bei *R* ein, und zwar tritt ein geringer Theil durch die Oeffnung in der Glocke aus und verbrennt aus dem Brenner *F*. Der größere Theil geht von dem Raum unter Glocke weiter durch den ganzen Apparat und ſpeiſt ſchließlich den Brenner *P*. Das erſte Photorheometer dient zur Herſtellung eines conſtanten Druckes von 28 bis 30 mm, unter welchem die Gasuhr ſtets das durchgehende Gas meſſen ſoll. Zu dieſem Zweck ſtellt man den Wechſel *f*, und ändert damit den oberhalb der Glocke wirkenden Gegendruck ſoweit, bis an dem Manometer *B* der gewünſchte Druck angezeigt wird. Das Gas geht zum Manometer und weiter durch das Rohr *G'*, von welchem bei *M* eine Abzweigung in den Fuß der Gasuhr abgeht, um den Waſſerſtand in

der Uhr conſtant zu halten. Wenn der Hahn *H* geſchloſſen iſt, ſo geht das Gas durch den Fuß in die Gasuhr, um nach entſprechender Bewegung des direct auf der Trommelaxe ſitzenden Zeigers durch das Rohr *I* und *L* nach *D* und zum Brenner *P* zu gelangen. Iſt der Hahn *H* offen, ſo geht das Gas durch das

Fig. 108.



Rohr *G''* direct von einem Photorheometer zum andern. Durch den Hahn *H* kann man ſomit die Uhr in Gang ſetzen und wieder ſtillſtellen ohne den Gasſtrom zu unterbrechen. Die kleinen Ungleichheiten im Gange der Trommel, welche bei der ſorgfältigſten Herſtellung nicht ganz vermieden werden können, ſind hier ohne Bedeutung, weil für jede Beobachtung eine ganze Trommelumdrehung erforderlich iſt. Das Zifferblatt *J* trägt zunächſt eine Theilung von 38 Liter, eine zweite Theilung entſpricht den Erfahrungsziffern von Dumas und Regnault, ſo daß man die Reſultate, welche man mit dem Photorheometer *D* erhält, direct mit jenen vergleichen kann, die der franzöſiſche Argandbrenner von Bengel mit 30 Löchern giebt (vergl. S. 81). Die Beobachtung dauert eine Minute, die

Theilung multiplicirt die wirklich durchgegangene Gasmenge mit 60; der Draht *p* wird ſo geſtellt, daß er von der Brenneröffnung bis zur Flammenſpitze genau 105 mm mißt. Die Glockenöffnung läßt genau 38 Liter normales Gas hindurch. Oeffnet man den Hahn *K* und läßt einen Zuſchuß an Gas zu, ſo hat man daſſelbe Ergebniß, als wenn man das Loch in der Glocke und damit die Flamme *P* vergrößert. Das Entgegengeſetzte tritt ein, wenn man den Hahn *L* ſchließt.

Um den Apparat in Gang zu ſetzen, ſtellt man zunächſt den normalen Druck am Manometer her. Wenn die Flammen angezündet ſind, der Hahn *L* offen und *H* geſchloſſen, ſo öffnet man den Letzteren in dem Augenblicke, wo der Zeiger auf 38 ſteht und arretirt dadurch die Gasuhr.

Nun kann die Beobachtung eine dreifache ſein:

1. Die Flamme erreicht genau die Höhe von 105 mm; dann iſt die Leuchtkraft normal, und man hat nur zu unterſuchen, ob der Verbrauch genau 38 Liter iſt. Man ſchließt den Hahn *H* in dem Augenblick, wo eine Secundenuhr auf 0 ſteht, läßt das Gas genau eine Minute lang durch die Gasuhr gehen, öffnet alsdann denſelben Hahn, und wenn dann der Zeiger auf 38 ſteht, ſo iſt der Verbrauch normal.

2. Iſt die Flamme niedriger als *p*, ſo öffnet man den Hahn *K* ſoweit, daß man die Höhe von 105 mm erreicht, und unterſucht den Verbrauch.

3. Iſt die Flamme höher, dann regelt man die Höhe mittels des Hahnes *L* und beſtimmt ebenfalls den Verbrauch.

Die Abweichungen im Gasverbrauch entſprechen den Unterſchieden in der Leuchtkraft.

Die Füllung der Photorheometer mit Glycerin muß ſehr ſorgfältig geſchehen. Um die Uhr mit Waſſer zu füllen, muß man ſie zunächſt genau horizontal ſtellen, was dadurch geſchieht, daß man eine Waſſerwage auf die Meſſingplatte *N* aufſetzt, welche auf der Uhr befeſtigt iſt, und die Stellung mittels der Schrauben *V* regelt. Alsdann gießt man langſam Waſſer ein, bis es aus der Oeffnung im Fuß abfließt. Nun läßt man Gas ein, und läßt es 24 Stunden lang brennen, bevor man einen Verſuch macht, damit das Waſſer Zeit hat ſich zu ſättigen. In den erſten Tagen hat man ſich bei den Verſuchen ſtets zu überzeugen, ob der Waſſerſtand richtig iſt.

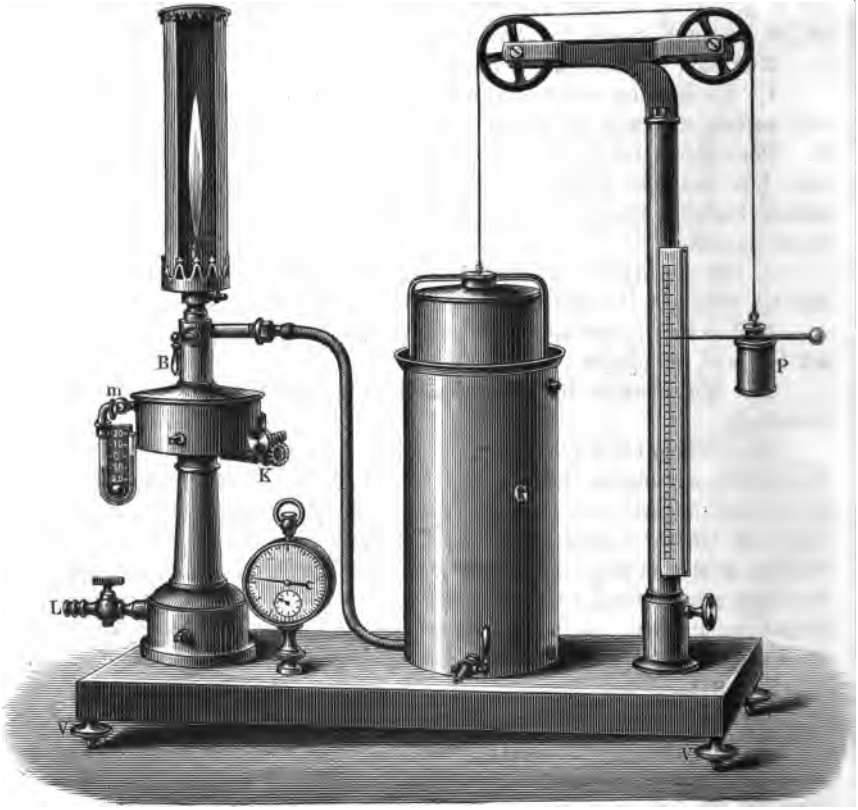
Der Apparat koſtet 280 Francs; nach den Verſuchen von Schilling iſt er für Gasbeleuchtungsanſtalten empfehlenswerth.

Bei dem in Fig. 109 (a. f. S.) abgebildeten Apparat tritt das Gas ebenfalls durch ein Photorheometer in einen Einlochbrenner, deſſen 105 mm hohe Flamme von einem bis auf den dem Beobachter zugewendeten Streifen geſchwärzten Cylinderglas umgeben iſt, welches eine Marke für die richtige Flammenhöhe trägt. Bei der in der Zeichnung angegebenen Stellung des Dreiweghahnes *B* ſtrömt das Gas aus dem Rheometer zum Brenner. Dreht man aber den Handgriff um 90° nach rechts, ſo iſt der Brenner abgeſperrt und die Verbindung mit dem Gasbehälter *G* hergeſtellt. Hat man nun den Durchgang des Gaſes durch das Rheometer ſo geregelt, daß die vorgeſchriebene Flammenhöhe erreicht iſt, ſo läßt man den durch das Rheometer conſtant erhaltenen Gasſtrom genau eine Minute lang ſtatt in den Brenner in den Gasbehälter *G* ſtrömen; der Zeiger auf dem Gegengewicht *P* giebt dann das verbrauchte Gasvolumen an. Die richtige Ein-

stellung der Flammenhöhe wird mittels eines am Photorheometer befindlichen Umgangsrohres mit Mikrometerschraube *K* ausgeführt. Die Lichtstärke ergiebt sich in derselben Weise wie bei dem anderen Apparate.

Völlig abweichend von den bisher besprochenen Verfahren ist der Versuch von Siemens [1]), das zwei Lichtquellen vergleichende menschliche Auge gleichsam durch den elektrischen Strom zu ersetzen, indem er die eigenthümliche Eigenschaft des krystallinischen Selens benutzt, im Licht die Elektricität besser zu leiten als im

Fig. 109.



Dunkeln. Durch Ausfüllung der Zwischenräume von zwei kleinen flachen Drahtspiralen mit grobkrystallinischem Selen ist es ihm gelungen, einen photometrischen Apparat herzustellen, der unter Anwendung einer Daniell'schen Zelle hinlänglich starke Ströme giebt, um noch sehr schwache Lichtstärken durch Messung derselben mit hinlänglicher Schärfe vergleichen zu können.

Am Ende eines kurzen drehbaren Rohres befindet sich das Selenpräparat; die Enden der beiden Spiraldrähte stehen mit einander durch eine Daniell'sche

[1]) Dingl. 1875, 217, 61; 1878, 229, 298; Poggend. 159, 117.

Zelle und den Umwindungsdraht eines Galvanometers in leitender Verbindung, so daß die Nadel abgelenkt wird. Entfernt man den Deckel des Rohres und läßt das Licht der zu messenden Flamme auf die Selenscheibe treffen, so nimmt die Leitungsfähigkeit des Selens, entsprechend der Stärke des drauffallenden Lichtes, zu, die Ablenkung der Galvanometernadel wird also größer. Dreht man nun das Rohr so, daß es, statt auf die zu messende Flamme, auf eine Normalkerze gerichtet ist, und regelt die Entfernung derselben so, daß die Ablenkung der Nadel dieselbe wird, und dieselbe bleibt, wenn das Selen abwechselnd durch die zu messende Flamme und die Normalkerze beleuchtet wird, so ist die Lichtwirkung beider gleich und die Lichtstärken stehen mithin im umgekehrten Verhältnisse der Quadrate ihrer Abstände von der Selenplatte.

Börnstein [1]) zeigt, daß auch Platin, Gold und Silber im Licht leitender werden; eine entsprechende Anwendung dieser Eigenschaft ist jedoch noch nicht gemacht.

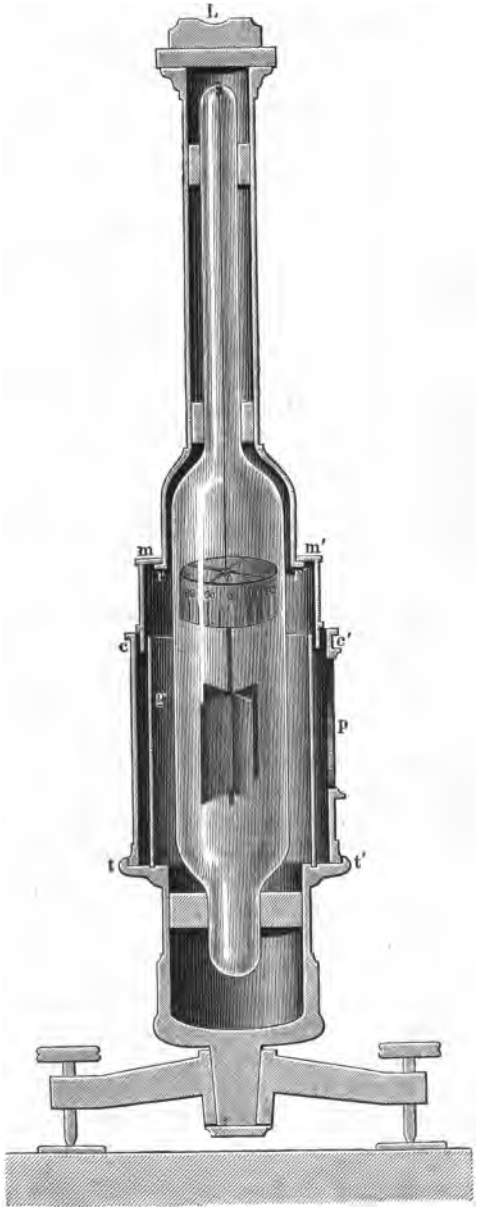
Dewar [2]) hat die elektrischen Ströme untersucht, welche durch Einwirkung des Lichtes auf verschiedene Stoffe entstehen. Darnach sind die elektrischen Ströme, welche herrühren von der Wirkung des Lichtes auf bestimmte Salze, stark beim Ferro- und Ferricyankalium; von organischen Säuren ist das weinsteinsaure Uran eine der wirksamsten. Eine Mischung von seleniger und schwefliger Säure in Gegenwart von Chlorwasserstoffsäure ergiebt starke Ströme unter der Einwirkung des Lichtes. Die Reihe der Substanzen, welche nachweislich chemische Zersetzungen durch Lichtwirkung erleiden, und in Folge dessen elektrische Ströme erzeugen, sind sehr groß, ob aber dieses Verhalten zu photometrischen Messungen geeignet ist, steht dahin.

Nachträglich möge noch das während des Druckes dieser Abhandlung bekannt gewordene Skalenphotometer von Zöllner [3]) besprochen werden. Nach Zöllner beweisen die von Crookes angestellten Untersuchungen über das Radiometer, daß zwischen Körpern in wahrnehmbaren und deshalb meßbaren Abständen lebendige Kraft in Gestalt von Molecularbewegung übertragen und hierdurch Bewegungen der strahlenden und bestrahlten Körper erzeugt werden können. Mag nun diese Uebertragung der lebendigen Kraft mit dem materiellen Träger derselben durch Emission, oder ohne denselben durch Undulation geschehen, in beiden Fällen werden an denjenigen Stellen eines Körpers, auf welche solche Strahlen treffen, moleculare Gleichgewichtsstörungen erzeugt, durch welche sich unter geeigneten Bedingungen Molecüle von der Körperoberfläche ablösen und hierdurch vermöge der mechanischen Reaction einen der Richtung des auffallenden Strahles entgegengesetzten Druck auf den Körper erzeugen. Die Größe dieses Druckes wird bei bestimmter Intensität der Bestrahlung im Allgemeinen durch die Beschaffenheit der Körperoberfläche, der Wellenlänge der auffallenden Strahlen und der Beschaffenheit des umgebenden Raumes bedingt sein. Von denselben Umständen ist nun auch die physiologische Reaction unseres Auges gegen Lichtstrahlen abhängig, denn die Stärke des empfundenen Lichtreizes hängt von der Reizbarkeit der Netz-

[1]) Habilitationsschrift; Heidelberg 1877. — [2]) Proc. Roy. Soc. 27, 354. — [3]) F. Zöllner: Das Skalenphotometer (Leipzig, 1879), S. 93.

haut, von der Wellenlänge der Lichtstrahlen und von der Transparenz und der Absorptionsfähigkeit der wässerigen Bestandtheile des Auges ab, durch welche die Strahlen zu einem Bilde auf der Netzhaut vereinigt werden.

Fig. 110.



Wir bezeichnen für gewöhnlich mit dem Namen Licht nur die Wirkung solcher Strahlen, welche im Stande sind, durch Vermittlung der Netzhaut unsere Sehnerven zu reizen. Obschon bei gleicher objectiver Beschaffenheit der Strahlen die Stärke dieses Reizes zwischen verschiedenen Personen Aenderungen unterworfen sind, so wird man doch unter dem Namen Lichtmesser oder Photometer stets nur solche Instrumente verstehen, durch welche man im Stande ist, quantitative Vergleiche zwischen solchen Strahlengattungen anzustellen, welche vorzugsweise unsere Netzhaut reizen. Dieser Forderung genügen nun nach Zöllner die radiometrischen Erscheinungen in luftverdünnten Räumen, und zeigen die Figuren 110 und 111 Durchschnitt und Ansicht des auf diesen Erscheinungen beruhenden Skalenphotometers. In einem Glasgefäße befindet sich an einem für die Sicherheit des Transportes hinreichend starken Coconfaden das aus vier Flügeln bestehende Radiometerkreuz. Was den Stoff und die Zubereitung der Flügel betrifft, so war ein besonderes Augenmerk darauf zu richten, daß bei schnellen Temperatur-

rhöhungen des Instrumentes keine regressiven Bewegungen eintreten, welche bei schneller Steigerung der Temperatur auf zwei verschiedenen Ursachen beruhen. Erstens geben hierzu formelle Verschiedenheiten der beiden Seiten der Flügel (z. B. Halbschalen) oder die Neigung derselben zur Drehungsaxe Veranlassung, indem hierdurch bei vorherrschender Emission der Gefäßwandungen Drehungsmomente erzeugt werden, welche unter geeigneten Umständen die Reactionswirkungen compensiren können, die durch Emissionen an den Oberflächen der beweglichen Flügel entstehen und bei photometrischen Apparaten allein als Maß für die Intensität des wirksamen Lichtes benutzt werden müssen. Zweitens können aber diese regressiven Bewegungen auch durch die Verschiedenheit des Absorptions- und Reflexionsvermögens für Wärmestrahlen der auf beiden Seiten von ebenen und parallel der Drehungsaxe befestigten Radiometerflügeln entstehen. Dies ist z. B. bei blanken Aluminiumflächen der Fall, welche einseitig mit durchsichtigen Glimmerblättchen belegt sind. Wird ein aus solchen Flügeln construirtes Radiometer von außen, z. B. mit der Hand, erwärmt, so werden die von der inneren Gefäßwand ausgehenden dunklen Wärmestrahlen von der mit Glimmer belegten Seite stärker absorbirt

Fig. 111.

als von der unbelegten Metallfläche. Durch jene Absorption erwärmt sich das Glimmerscheibchen beträchtlich schneller als die unbelegte metallische Seite der Flügel und hierdurch überwiegen bis zur Ausgleichung der Temperatur die Emissionsprocesse von den mit Glimmer belegten über diejenigen von den metallischen Oberflächen und es findet eine Rotation statt, welche der bei leuchtenden Strahlen entgegengesetzt gerichtet ist.

Es müssen folglich bei der Construction eines auf diesen Bewegungen beruhenden Photometers zur Verminderung des störenden Einflusses plötzlicher Temperaturschwankungen die angedeuteten regressiven Bewegungen vermieden werden. Nach mehrfach angestellten Versuchen hat sich am zweckmäßigsten ein Radiometerkreuz von Glimmer erwiesen, dessen Flächen einseitig mit Ruß überzogen sind. Ein solches Kreuz dreht sich sowohl unter dem Einfluß leuchtender als auch dunkler Wärmestrahlen stets nach derselben Richtung. Wenn man daher die oben erwähnten absorbirenden Stoffe anwendet, so können Compensationswirkungen der besprochenen Art die photometrischen Messungen nicht stören. Außerdem werden auch jederzeit plötzliche und große Temperaturschwankungen des Beobachtungsraumes leicht vermieden werden können, da das Instrument an einem ruhigen, vor starken Erschütterungen geschützten, Orte aufgestellt werden muß, um die Scala zur Ruhe kommen zu lassen. Letztere besteht aus einem kreisförmigen Papiercylinder, dessen Umfang in 100 Theile getheilt ist. Der Index befindet sich vor einer Oeffnung in einer cylindrischen beweglichen Messingkapsel, deren Rand mm' von dem darunter befindlichen vorspringenden Rand rr' des oberen Messingstückes getragen wird und auf demselben leicht gedreht werden kann. Da der Nullpunkt der Scala erst nach längerem Stehen des Instrumentes eine hinreichend feste Lage einnimmt, so ist die Beweglichkeit des Index für eine Correction des Nullpunktes erforderlich. — Ferner stellt g (Fig. 110) den Durchschnitt eines starkwandigen, auf beiden Seiten mattgeschliffenen Glascylinders dar, theils zur Zerstreuung des Lichtes, theils zur Absorption dunkler Wärmestrahlen. Um diesen Glascylinder schließt sich von außen ein Messingcylinder, der seitlich eine durch einen Deckel leicht verschließbare, kreisförmige Oeffnung p mit einer Platte von Milchglas oder mattem Glase trägt. Alle diese Theile ruhen frei beweglich auf der metallenen Basis tt' des Instruments und lassen sich nach oben leicht von dem Instrumente abheben. Am Kopfe bei L trägt das Photometer eine Dosenlibelle zur Verticalstellung. Die Zahl der Scalentheile wächst gemäß den Torsionsgesetzen proportional dem Drehungswinkel, wobei jedoch selbstverständlich darauf zu achten ist, daß nicht mehrere Umdrehungen der Scala unter dem Einflusse des directen Sonnenlichts stattfinden. Es ist daher durchaus nothwendig, das Instrument, wenn es nicht benutzt wird, stets mit verschlossener Oeffnung stehen zu lassen.

Da ferner die bestrahlten Flächen des Radiometers bei verschiedener Beleuchtung verschiedene Stellungen zu dem matten Glascylinder einnehmen, so ist es erforderlich, für eine möglichst allseitige und gleichmäßige Beleuchtung desselben zu sorgen. Bei der photometrischen Bestimmung von Kerzen- oder Gasflammen wird dieser Bedingung am leichtesten durch gleichzeitige Beleuchtung von vier Seiten durch vier Flammen entsprochen, deren Verbindungslinien sich im

Mittelpunkte des Instrumentes unter rechten Winkeln kreuzen. Bei Messungen des zerstreuten Tageslichtes, welche namentlich für Photographen von Wichtigkeit sind, kann man den äußeren Messingcylinder durch einen im Innern versilberten conischen Reflector mit nach oben gerichteter Oeffnung ersetzen. Erhält alsdann das Instrument an einem nicht der Sonne zugänglichen Ort seine dauernde Aufstellung, womöglich im Freien unter dem Schutze einer darüber angebrachten Glasglocke, so dient dasselbe dem Photographen als ein sehr nützliches Instrument zur sicheren Bestimmung der Expositionszeit. Daß die Temperatur, bei welcher die Beobachtung stattfindet, vermuthlich auf die Empfindlichkeit einen Einfluß ausüben wird — wenn auch einen für die in bewohnten Zimmerräumen vorkommenden Temperaturschwankungen praktisch zu vernachlässigenden —, scheint nach Beobachtungen über die Veränderung des Vacuums durch Erwärmung sehr wahrscheinlich. Es ist deshalb mit dem Instrumente in passender Weise ein Thermometer in Verbindung gebracht, dessen Stand bei genaueren Messungen notirt werden muß.

Im Allgemeinen ist der heutige Standpunkt der Lichtmessung noch mangelhaft und sind die bis jetzt bekannten Verfahren, die Leuchtkraft einer Flamme zu messen, längst nicht so zuverlässig, als die Wärmemessung.

Zunächst fehlt es an einer überall leicht zu beschaffenden völlig gleichen Lichteinheit; ob das Platinlicht (S. 74) diese Lücke ausfüllen wird, müssen weitere Versuche lehren.

Sodann ist die Vergleichung zweier Lichtquellen oft sehr erschwert durch die verschiedene Farbe derselben und durch die ungleiche Empfindlichkeit der Augen verschiedener Beobachter. So findet Charpentier[1]), daß ein stärkeres Licht erfordert wird um eine Gesichtsempfindung hervorzurufen als die einmal hervorgerufene zu unterhalten, daß namentlich nach längerem Verweilen in der Dunkelheit sich das Verhältniß beider Lichtmengen selbst bis auf 1 : 100 erhebt.

O. E. Meyer[2]) wandte zur Vergleichung der Farbe des Gas-, Sonnen-, Tages- und elektrischen Lichtes entweder das Verfahren von Vierordt (vergl. S. 88) an, welches aber nur bei einander nahe stehenden Helligkeiten genaue Resultate giebt, da sonst die Spectra zu unrein werden, oder aber es wurde ein Nicol'sches Prisma vor der einen Spalthälfte fest aufgestellt, welches das von der einen Lichtquelle kommende Licht empfing. Hinter ihm stand das in einem Kreise drehbare Nicol eines Wild'schen Polaristrobometers. Der durch beide Prismen tretende Lichtstrahl trifft dann auf ein rechtwinkliges Glasprisma, das ihn in den Spectralapparat reflectirt. Die zweite Spalthälfte wurde entweder direct oder durch Vermittlung eines zweiten rechtwinkligen Prismas von der zweiten Lichtquelle erleuchtet.

Die gefundenen Zahlen enthält die folgende Tabelle; die ersten sind nach der Vierordt'schen, die anderen nach der zweiten Methode erhalten. Das Verhältniß der Helligkeiten im Gelb ist stets gleich 1 gesetzt.

---

[1]) Compt. rend. 88, 189, 299. — [2]) Ztschr. f. angewandt. Elektr. 1879, 320.

	Gaslicht Tageslicht	Gaslicht Elektr. Licht
Roth	1,33	1,20
Gelb *D*	1,00	1,00
Grün *E*	0,50	0,70
Blau *F*	0,50	0,65
Violett *G*	0,31	0,56 bis 0,36

	Gaslicht Sonnenlicht	Petroleumlicht Sonnenlicht	Elektr. Licht Sonnenlicht	Gaslicht Elektr. Licht	
Roth	4,07	3,29 bis 2,12	2,09	1,71	1,88
Gelb *D*	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Grün *E*	0,43	0,60	0,87	0,35	0,45
Blau *F*	0,23	0,26	0,99	0,23	0,37
Violett *G*	0,15	0,15	1,03	0,08	0,13
Aeußerſtes Violett	—	—	1,21	—	—

Aus den obigen Zahlen ergiebt ſich, daß die Helligkeit der Farben im Gasſpectrum im Vergleich zu der im Sonnen- oder Tageslicht und elektriſchen Licht vom rothen bis zum violetten Ende des Spectrums ſtetig abnimmt.

Da das Sonnenlicht in den mittleren Theilen des Spectrums beträchtlich heller leuchtet als das elektriſche Licht, ſo muß das elektriſche Licht neben dem Sonnenlicht gelb erſcheinen; in einem Ritchie'ſchen Photometer (S. 68) erſchien in der That die von dem elektriſchen Licht beſtrahlte Fläche gegenüber der von der Sonne beleuchteten gelb wie eine Apfelſine. Es iſt ferner bemerkenswerth, daß in dem Tageslicht verhältnißmäßig mehr rothes und gelbes und weniger blaues und violettes Licht enthalten iſt als im Sonnenlicht.

Genaue Vergleiche wird man ſomit nur mit dem Spectralapparat ausführen können; ſehr wünſchenswerth wäre es, hiermit das Scalenphotometer von Zöllner (S. 100) zu vergleichen. Genaue Meſſungen ſind bis jetzt nicht ausführbar; für praktiſche Zwecke wird man wohl vorläufig bei dem Bunſen'ſchen Verfahren (S. 78) ſtehen bleiben.

Unterſuchung der Brennſtoffe.

Bei der Unterſuchung der Brennſtoffe, namentlich der foſſilen, iſt zunächſt zu berückſichtigen die Form und Größe der Stücke, die Feſtigkeit derſelben, fremdartige Einmengungen u. dergl. Es iſt ferner zur Beurtheilung einer Kohle zu empfehlen, nicht nur eine Durchſchnittsprobe zu unterſuchen, ſondern auch eine Anzahl einzelner, ſchon äußerlich verſchiedener Stücke, um ſo die Verſchiedenheit in der Zuſammenſetzung feſtzuſtellen.

Scheurer-Keſtner breitete einen Kohlenhaufen von etwa 20 000 kg Gewicht gleichmäßig aus, nachdem die größeren Stücke vorher zerkleinert waren; und entnahm hierauf von der ganzen Fläche des Haufens, der 50 qm einſchloß, eine Probe von 100 kg. Dieſe Probe wurde in einer Mühle zerkleinert, die zerkleinerte Subſtanz ausgebreitet und durch zwei ſich kreuzende Linien in vier Portionen getheilt, und die mit den Spitzen zuſammenſtoßenden Flächen entnommen. Dieſe Operation wurde ſo oft wiederholt, bis die Subſtanz auf etliche Kilogramm ſich gemindert hatte, dieſe nun ſorgfältig pulveriſirt und mit der Theilung wie vorher fortgefahren, bis ſchließlich eine Probe von 200 g erhalten wurde.

Specifiſches Gewicht. Da die Brennſtoffe durchweg porös ſind, ſo kann entweder das ſpecifiſche Gewicht der Subſtanz ſelbſt, oder der ganzen Stücke mit Einſchluß der Poren in Frage kommen. Erſteres kann man paſſend mit dem von F. Rüdorff[1]) angegebenen Apparat (Fig. 112, a. f. S.) ermitteln. Das Glasgefäß *n* von etwa 25 ccm Inhalt iſt durch einen engen, die Marke *s* tragenden Hals mit dem Gefäße *m* von etwa 40 ccm Inhalt verbunden, welches wieder in ein etwa 65 mm langes und 10 mm dickes Glasrohr mit dem Hahn *t* ausläuft. Das Gefäß *n* trägt ſeitlich das Manometer *r* und oben eine aufgeſchliffene Kappe mit dem Glashahn *h*.

Zur Anſtellung eines Verſuches wird das Manometer *r* zur Hälfte, das Gefäß *m* nebſt Rohr aber bis in das Gefäß *n* mit Queckſilber gefüllt. Durch Oeffnen des Hahnes *t* wird nun das Queckſilber bis zur Marke *s* abgelaſſen, ein

[1]) Dingl. 1879, 232, *417.

passendes Glasrohr in das Gefäß *n* gebracht, die Kappe bei geöffnetem Hahn *h* fest aufgesetzt und dieser dann geschlossen. Nun wird durch Oeffnen des Hahnes *t* so lange Queckſilber abgelaſſen, deſſen Volum durch Wägung beſtimmt wird, bis das Manometer eine Druckverminderung von etwa 0,5 Atm. zeigt. Dann wird ein zweiter Verſuch in derſelben Weiſe gemacht, nur wird das Glasrohr in *n* mit der zu unterſuchenden Subſtanz, deren Gewicht vorher ermittelt iſt, gefüllt. Hierbei iſt darauf zu achten, daß der Stand des Queckſilbers im Manometer genau derſelbe iſt wie im erſten Verſuch, ſo daß alſo der Druck im Innern des Apparates in beiden Verſuchen gleich iſt. Aus zwei ſolchen zuſammengehörigen Verſuchen läßt ſich das Volum der verdrängten Luft berechnen.

Fig. 112.

Bezeichnet man den Abſtand der Queckſilberoberflächen im Manometer mit *m*, den von einem Barometer abgeleſenen Luftdruck mit *b*, ſo iſt $b - m = d$ der Druck, unter welchem ſich die Luft im Apparat befindet. Ferner ſei *q* das Volum des im erſten, *q'* das Volum des im zweiten Verſuch abgelaſſenen Queckſilbers. Mit *v* und *v'* ſei das geſammte Volum der Luft im erſten und zweiten Verſuch bezeichnet. Das Volum des Röhrenabſchnittes, in welchem das Queckſilber in dem einen Manometerſchenkel ſteigt, ſei *x*, dann verhält ſich $v : (v + q - x) = (b - m) : b$ und $v' : (v' + q' - x) = (b - m) : b$.

Aus dieſen beiden Gleichungen folgt, wenn man ſchließlich $(b - m) = d$ ſetzt: $v - v' = \frac{(q - q')\,d}{m}$; $v - v'$ iſt aber das Volum des zu unterſuchenden Körpers. Es läßt ſich dieſes alſo aus den Werthen *q*, *q'*, *m* und *b* berechnen.

Zur Beſtimmung des ſpecifiſchen Gewichtes ganzer Stücke werden dieſelben mit einer dünnen Schicht Paraffin oder Wachs überzogen, worauf man in bekannter Weiſe ihr Gewicht an der Luft und im Waſſer ermittelt. Der Unterſchied beider ſpecifiſchen Gewichte giebt Aufſchluß über die Poroſität der unterſuchten Stücke. Immerhin iſt ſehr wohl zu berückſichtigen, daß dieſe Angaben nur dann die Dichtigkeit der Brennſtoffe ſelbſt genau darſtellen, wenn gleichzeitig von dem betreffenden Stücke die Menge der Aſche und ihr ſpecifiſches Gewicht beſtimmt iſt. Dabei iſt zu bemerken, daß die Aſchenbeſtandtheile nach dem Verbrennen der Kohle vorausſichtlich eine andere Dichte haben als vorher, um ſo mehr

Schwefelkies in Eisenoxyd, Calciumcarbonat in Calciumoxyd oder Calciumsulfat übergehen. Die Bestimmung des specifischen Gewichtes ist wohl geologisch wichtig, für technische Zwecke aber unwesentlich.

Bestimmung der eingeschlossenen Gase. Um die in Kohlen eingeschlossenen Gase zu erhalten, bringt Meyer[1]) die Kohlen in kochendes Wasser, kocht weiter um zunächst die mitgerissene atmosphärische Luft zu entfernen und fängt erst dann die entwickelten Gase auf, um sie in der bei der Untersuchung der Gase besprochenen Weise zu untersuchen. Parry[2]) und Thomas[3]) erhitzen Koke oder Braunkohle im luftleeren Raum und saugen die Gase mittels der Quecksilberluftpumpe ab.

Es erscheint noch keineswegs ausgemacht, ob die bisher gefundenen Gase bereits fertig in den Kohlen enthalten sind oder nicht vielmehr erst beim Erwärmen, namentlich wenn dieses unter Wasser geschah, gebildet wurden. Jedenfalls hat diese Untersuchung, vorläufig wenigstens, keinen technischen Werth.

Bestimmung des Wassergehaltes. In der Regel werden zur Bestimmung des Wassergehaltes 1 bis 5 g des Brennstoffs bei 100 bis 110° getrocknet, bis zwei aufeinanderfolgende Wägungen keine Gewichtsabnahme mehr erkennen lassen[4]). Schondorff[5]) trocknet die Kohle sogar bei 90°, Richardson[6]) bei 100°, Hinrichs[7]) trocknet die fein gepulverte Kohle auf einem Uhrglase eine Stunde bei 115°. Regnault[8]) meint aber, daß die Wasserbestimmungen bei 100° ungenau seien, sobald die Kohle Thon enthalte, da dieser erst bei Rothglut sein Wasser verliere. Richters[9]) bringt zur Bestimmung des hygroskopischen Wassers die fein gepulverte Kohle zunächst unter eine Glocke neben ein Schälchen mit Wasser, läßt bei 15° stehen und trocknet dann bei 100°.

Daß diese gewöhnlichen Trockenmethoden keineswegs genaue Resultate geben, zeigen u. A. folgende Versuche.

Fein gepulverte Bantorfer Kohle verlor 3 Stunden auf 110° erhitzt 1,83 Proc. und wurde in einer Nacht über Wasser wieder 2,59 Proc. schwerer. 2,153 g derselben Probe zwischen zwei Uhrgläsern (Fig. 113 a. f. S.) drei Stunden auf 100 bis 105° erhitzt, wogen 2,060 g,

nach zweitägigem Stehen an der Luft und einstündigem Erhitzen auf 110°	2,083
nach weiteren drei Stunden	2,105
zwei Tage über Wasser	2,199
drei Stunden auf 110° erwärmt	2,129
acht Tage an der Luft	2,202
zwei Stunden auf 110° erwärmt	2,147

---

[1]) J. pr. Chem. II, 5, 144, 407; Dingl. 1871, 201, 461; 1872, 204, 462; 206, 496. — [2]) Dingl. 1872, 204, 470. — [3]) Chem. News 1877, 249. — [4]) Kerl: Probirbuch, S. 131; Stein: Untersuchung der Steinkohlen Sachsens, S. 14. — [5]) Ztschr. f. B. H. Sal. 1875, 138. — [6]) J. pr. Chem. 11, 165; Dingl. 1836, 67, 212. — [7]) J. anal. Chem. 1869, 132. — [8]) Ann. de min. III, 12, 161. — [9]) Dingl. 1870, 195, 320.

2,471 g derselben Probe auf einem offenen Uhrschälchen zwei Stunden auf 100° erwärmt wogen 2,423 g

nach einer Stunde auf 110°	2,435
nach zwei Stunden auf 110°	2,464
dann eine Nacht über Wasser	2,550
wieder drei Stunden auf 110°	2,473
dann eine Nacht über Wasser	2,559
wieder zwei Stunden auf 110°	2,487

Die Kohle hatte also beim ersteren Versuch zwischen zwei Uhrgläsern trocken 78 mg oder 4 Proc., auf dem offenen Uhrglase aber in zwei Tagen 64 mg oder

Fig. 113.

2,6 Proc. zugenommen, und zwar wie folgender Versuch zeigt durch Aufnahme von Sauerstoff.

4 g derselben Kohlenprobe wurden in einem Röhrchen drei Stunden lang auf 100 bis 110° erwärmt und dabei 2 Liter trockne, kohlensäurefreie Luft übergeleitet; die Kohle verlor 1,778 Proc., die übergeleitete Luft aber enthielt:

Wasser	1,844	Proc. der Kohle
Kohlensäure	0,125	„ „ „
Kohlenstoff	0,049	„ „ „
Wasserstoff	0,022	„ „ „

Die Kohle hatte also in den drei Stunden 0,07 Proc. Kohlenwasserstoff und 0,125 Proc. Kohlensäure abgegeben, dagegen 0,262 Proc. Sauerstoff aufgenommen. Wahrscheinlich ist auch ein Theil der Kohlensäure und des Wassers erst durch Oxydation der Kohlenbestandtheile gebildet. Bei der Bestimmung des Wassers in den fossilen Brennstoffen ist daher der Zutritt der atmosphärischen Luft auszuschließen oder doch möglichst zu beschränken.

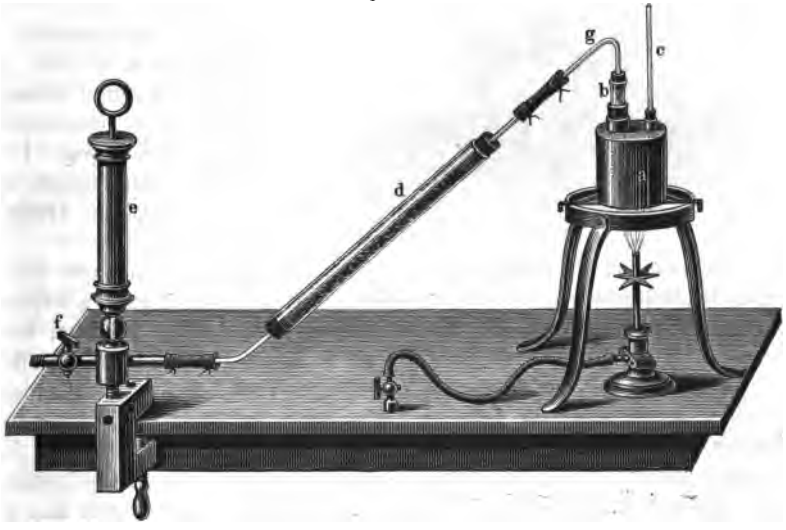
Für technische Zwecke erwärmt man daher 2 bis 4 g des zu untersuchenden Brennstoffes zwischen zwei Uhrgläsern oder in einem Tiegel mit gut schließendem Deckel zwei Stunden lang auf 100 bis 110° im Luftbade, läßt erkalten und wiegt. Das Trocknen geschieht passend in dem aus starkem Kupferblech hergestellten Kasten *a b* (Fig. 114), dessen Oeffnung *c* ein Thermometer *d* trägt, während die Uhrgläser und Tiegel auf das Gestell *e* gesetzt werden.

Für wissenschaftlich genaue Versuche erwärmt man das Glasrohr *b* (Fig. 115) mit der zu untersuchenden Probe in dem mit Thermometer *c* versehenen Kupfergefäß *a* auf 100°, pumpt mittels der Luftpumpe *e* die Luft aus, läßt nach einiger

Zeit durch Oeffnen des Hahnes *f* durch pyrogallussaures Kali vom Sauerstoff befreite Luft oder Wasserstoff eintreten, welche durch das Chlorcalciumrohr *d* getrocknet werden und wiederholt diese Operation noch einige Male. Bequemer ist jedoch die Anwendung des Rochleder'schen Trockenapparates [1]). Der Cylinder von Kupferblech *B* (Fig. 116 a. f. S.) ist mit Paraffin gefüllt und trägt das Gefäß aus Eisen oder Glas *A*, welches Quecksilber enthält. In dieses Quecksilber taucht ein Thermometer und das Glasrohr *C* mit der zu untersuchenden Probe. Man leitet nun durch das unten etwas umgebogene Rohr *b* einen langsamen Strom trocknen Wasserstoff oder Kohlensäure ein, das durch das Rohr *a* entweichende Gas aber zum Vergleich durch ein Rohr mit Chlorcalcium oder Schwefelsäure, um durch Wägung desselben gleichzeitig eine directe Wasserbestimmung auszuführen.

Fig. 114.

Fig. 115.



[1]) J. pr. Chem. 66, 208.

Nach zweistündigem Erwärmen auf 100° ist die Trocknung völlig beendet. Statt dieses Paraffin- und Quecksilberbades kann man natürlich auch ein Luftbad

Fig. 116.

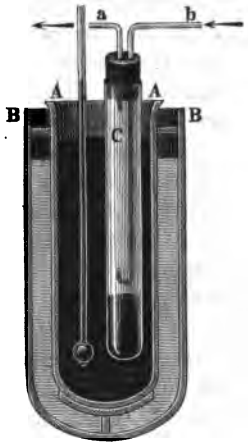
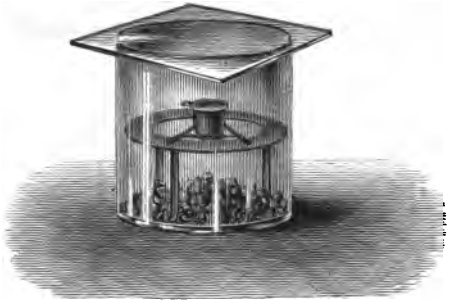


Fig. 117.

Fig. 118.



(Fig. 114) nehmen, dessen Decke eine entsprechende Oeffnung zum Einsenken des Rohres *C* hat.

Da die getrockneten Brennstoffe sehr hygroskopisch sind, so muß man sie bis zur Wägung in einem bedeckten Gefäß über concentrirter Schwefelsäure (Fig. 117) oder über Chlorcalcium, wie Fig. 118 andeutet, abkühlen lassen.

Bestimmung der Koksausbeute. Um bei der Untersuchung von Steinkohlen die Koksausbeute zu bestimmen, glüht G. Hinrichs[1]) 1 bis 2 g derselben in einem Platintiegel $3^1/_2$ Minuten über einer Bunsen'schen Flamme, dann $3^1/_2$ Minuten über dem Gebläse. Letzteres Verfahren führt leicht zu Verlusten.

Nach Merz[2]) werden etwa 5 g Kohle in einen bedeckten Porzellantiegel gebracht, der in einen zur Hälfte mit Thonpulver gefüllten, ebenfalls bedeckten Thontiegel so eingesetzt wird, daß die beiden Wände der Tiegel 1 bis 2 cm von einander abstehen. Der so gebildete Zwischenraum wird mit Holzkohlenstücken ausgefüllt und dann wird der Tiegel im Holzkohlenfeuer eine Stunde lang der

[1]) Ztschr. anal. Chem. 1869, 133. — [2]) Civiling. 1876, 218.

Rothglühhitze ausgesetzt. Merz erhitzte immer vier solche Tiegel gleichzeitig. Das Verfahren ist unbequem, ungenau und giebt keine der Technik entsprechenden Resultate, da die Erwärmung eine zu langsame ist. Ganz unbrauchbar ist die Koksbestimmung vor dem Löthrohr [1]).

Richters [2]) mischt 1 g der fein geriebenen lufttrocknen Kohle mit fein geschlämmtem Quarzpulver. Das Gemenge wird in einen 3 cm hohen und weiten Platintiegel lose eingetragen und bei aufgelegtem Deckel mittels der Flamme eines einfachen Bunsen'schen Brenners, welche bis zur äußersten Spitze eine Höhe von etwa 18 cm hat, so lange erhitzt, als noch mit leuchtender Flamme brennbare Gase entweichen. Der Tiegel wird dabei so tief in die Flamme eingesenkt, daß sein Boden etwa 6 cm von der Brennermündung entfernt ist. Sobald die Gasentwicklung beendigt ist, wird der Kokskuchen vorsichtig auf ein Eisenblech gebracht, so daß er mit seinem unteren Theil auf demselben ruht. Auf den Kuchen wird nun behutsam ein Gewicht von 0,5 kg gesetzt. Wird er bei dieser Belastung zerdrückt, so wird der Versuch mit einer geringeren Menge, bleibt er ganz, mit einer größeren Menge Quarzpulver und zwar so lange wiederholt bis der Kuchen im Stande ist, noch gerade das Gewicht zu tragen, ohne zerdrückt zu werden. Die Menge des angewandten Quarzpulvers dient als Maßstab für die Backfähigkeit der Kohle. Stark backende Kohlen bedurften z. B. auf 1 g 2,8 g Quarz, hatten also eine Backfähigkeit von 2,8, Sinterkohlen nur 0,8. Durch Wägung wird gleichzeitig die Koksausbeute bestimmt. — Diese Bestimmung der Backfähigkeit giebt jedoch keine, dem großen Arbeitsaufwand entsprechende Resultate, so daß sie kaum noch angewendet wird.

Schondorff [3]) bringt 2 g gepulverte Kohle in einem Platintiegel in eine Bunsen'sche Flamme von 20 cm Höhe und einem stündlichen Gasverbrauch von 150 Liter, und zwar in einem Abstande von 3 cm zwischen Brennermündung und Tiegelboden, bis keine Flamme mehr unter dem Tiegeldeckel heraustritt.

Muck [4]) empfiehlt dagegen folgende Regeln. Anwendung von nicht mehr als 1 g Probirgut, bei backender Kohle noch weniger, Flamme nicht unter 18 cm Höhe, dünnes Drahtdreieck, 3 cm Abstand des Tiegelbodens von der Brennermündung, Tiegel von guter Oberflächenbeschaffenheit und mehr als 30 mm Höhe bei stark blähenden Kohlen (gewöhnlich von 40 mm Höhe und 24 mm Bodendurchmesser), Erhitzen bis zum völligen Verschwinden jeglicher Flamme zwischen Deckel- und Tiegelrand. Zur Beurtheilung des mitunter wichtigen Aufblähungsgrades empfiehlt sich eine Wiederholung der Verkokung bei gelinderer Erhitzung.

Aus einer größeren Versuchsreihe über den Einfluß der Kohlenmenge und der Art des Erhitzens mögen nur folgende Versuche mit der bereits erwähnten Bantorfer Kohle folgen.

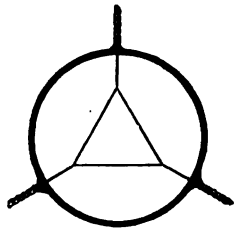
0,89 g Kohle im Platintiegel nach Schondorff rasch erhitzt gaben 67,17 Proc. eines blasigen, glänzenden Koks, 2,5 g in derselben Weise behandelt 67,77 Proc. Dieselbe Kohlenmenge mit einer anfangs kleineren Flamme erhitzt gab 69,76 Proc. Koks, im Porzellantiegel aber 80,54 Proc. eines das 3- bis 4fache Volum der Kohle einnehmenden glänzenden Koks.

---

[1]) Dingl. 1868, 189, 128. — [2]) Dingl. 1870, 195, 71. — [3]) Zschr. f. B. H. Sal. 1875, 137. — [4]) Chemische Beiträge S. 14.

Diese Versuche bestätigen lediglich die Erfahrungen von Stein[1]), nach denen entgegen der Angabe von Fleck[2]), welcher die Backfähigkeit der Kohle direct von dem verfügbaren Wasserstoff ableitet, die Elementarzusammensetzung der Kohle keinen Aufschluß über das Backen oder Nichtbacken, sowie die Koksausbeute der Kohle giebt. Dieses Verhalten ist wahrscheinlich bedingt durch die verschiedene nähere Zusammensetzung der einzelnen Bestandtheile. Einfluß hat ferner die Art der Erhitzung, die Feuchtigkeit der Kohle u. s. f. Dasselbe wird durch Muck bestätigt. Um daher übereinstimmende Resultate zu erhalten, ist allerdings die peinlichste Einhaltung der angegebenen Umstände erforderlich. Als Dreieck für den Platintiegel ist ein solches aus Platindraht (Fig. 119) allen anderen vorzuziehen.

Fig. 119.



Schondorff hat nach den äußeren Merkmalen der freien Oberfläche des erhaltenen Kokskuchen die Kohle in fünf Gruppen getheilt, wie es das folgende Schema angiebt.

Die freie Oberfläche des im Platintiegel aus feingesiebtem Kohlenpulver hergestellten Kokskuchens zeigt sich:

rauh, feinsandig,	schwarz,	überall oder doch bis nahe zum Rande locker	1. Sandkohle,
		fest gesintert, nur in der Mitte locker . .	2. Gesinterte Sandkohle,
		überall fest gesintert	3. Sinterkohle,
	grau und fest, knospenartig aufbrechend		4. Backende Sinterkohle,
glatt, metallglänzend und fest			5. Backkohle.

Bei der Backkohle ist jedenfalls die Größe der Volumzunahme zu berücksichtigen.

Hilt theilt die Kohlen nach der Koksausbeute folgendermaßen ein:

Koksausbeute		
52,6 bis 55,5 Proc.		1. Gasreiche Sandkohlen,
55,5 „ 60,0 „		2. Gasreiche (junge) Sinterkohlen,
60,0 „ 66,6 „		3. Backende Gaskohlen,
66,6 „ 84,6 „		4. Backkohlen,
84,6 „ 90,0 „		5. Gasarme (alte) Sinterkohlen,
über 90,0 „		6. Magere anthracit. Kohlen.

Schondorff[3]) zeigt, daß diese Eintheilung nicht zutreffend ist, und daß auch die von Gruner[4]) nicht den thatsächlichen Verhältnissen entspricht, welcher folgende fünf Gruppen unterscheidet:

---

[1]) Steinkohlen Sachsens, S. 19. — [2]) Dingl. 1866, 180, 470; 181, 48. — [3]) Ztschr. f. B. H. S. 1875, 149. — [4]) Dingl. 1873, 208, 424.

	Koksausbeute	Beschaffenheit der Koks
1. Trockene Kohle mit langer Flamme	50 bis 60 Prc.	Pulverförmig oder gefrittet.
2. Fette Kohle mit langer Flamme (Gaskohle) . . .	60 „ 68 „	Geschmolzen, stark zerklüftet.
3. Eigentliche fette Kohle (Schmiedekohle)	68 „ 74 „	Geschmolzen, mittelmäßig compact.
4. Fette Kohle mit kurzer Flamme (Kokskohle) . .	74 „ 82 „	Geschmolzen, sehr compact, wenig zerklüftet.
5. Magere anthracitische Kohle	82 „ 90 „	Gefrittet oder Pulver.

Gruner[1]) empfiehlt die sogenannte Immediatanalyse, nach welcher die Koksausbeute, aschenfrei gerechnet, der Wassergehalt und aus der Differenz die Menge der flüchtigen Stoffe beim Verkoken bestimmt werden. Er glaubt, daß die Steinkohlen, welche den wenigsten Koks geben, auch die geringste Wärme beim Verbrennen entwickeln. Wie weit diese Angabe richtig ist, wird später bei der Theorie der Verbrennung besprochen werden.

In gleicher Weise wie die Koksausbeute der Steinkohlen wird auch das Kohlenausbringen für Torf und Holz bestimmt.

Bestimmung des Aschengehaltes. Diese Bestimmung wird meist in der Art ausgeführt, daß eine Probe des Brennstoffes so lange an der Luft erhitzt wird, bis alles Brennbare verschwunden ist. Nach Muck[2]) wird das die feingepulverte Kohle enthaltende Platingefäß etwa eine Stunde durch eine kleine Flamme und dann allmälig stärker erhitzt. Schneller kommt man zum Ziele, wenn man gleich anfangs die gepulverte Kohle mit Alkohol befeuchtet, denselben abbrennt, und diese Operation mehrmals wiederholt. Um den letzten Rest von Kohle rasch zu veraschen, fügt Muck abermals etwas Spiritus hinzu, brennt diesen ab und glüht einige Zeit weiter.

Dieses letztere Befeuchten und Abbrennen des bereits fast ganz veraschten Rückstandes beschleunigt allerdings die Verbrennung der letzten Kohlenreste, doch habe ich dabei einige Male einen geringen Verlust beobachtet, der wohl auf die Verflüchtigung von Alkalien oder Kalk mit den Spiritusdämpfen zurückzuführen ist; in der That zeigte die Alkoholflamme die bekannten Färbungen.

Kerl[3]) erhitzt den gepulverten Rückstand der Verkokungsprobe auf einem sogenannten Röstscherben unter der vom Luftzuge nicht zu stark getroffenen Muffel bis zum völligen Verschwinden der schwarzen Theile.

Regnault[4]) meint, ein Gehalt an Schwefeleisen mache das Verhältniß zwischen Asche und aschefreien Bestandtheilen der Kohlen unrichtig. Allerdings ist das aus dem Schwefelkies entstehende Eisenoxyd leichter, sind aber Carbonate zugegen, so wird dieser Fehler durch Bildung von Sulfat theilweise wieder ausgeglichen:

---

[1]) Dingl. 1874, 213, 70, 242, 430; 1876, 219, 178. — [2]) Steinkohlenasche, S. 12; Chemische Beiträge, S. 21. — [3]) Probirbuch, S. 138. — [4]) J. pr. Chem. 13, 73, 143; Dingl. 1838, 68, 201.

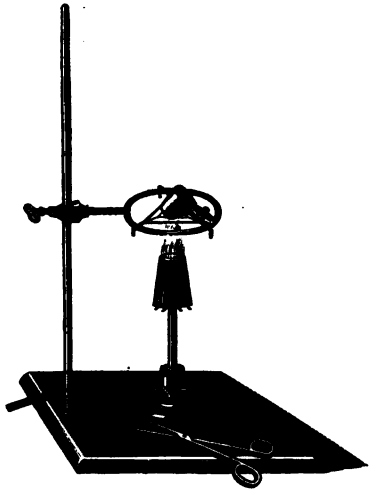
$$\underset{240}{2\,FeS_2} + \underset{240}{15\,O} + \underset{400}{4\,CaCO_3} = \underset{160}{Fe_2O_3} + \underset{544}{4\,CaSO_4} + \underset{176}{4\,CO_2}$$

Völlig genau wird allerdings der Gehalt einer Kohle an unorganischen Bestandtheilen wohl kaum bestimmt werden können, da viele derselben beim Veraschen verändert werden. So hat Mayençon[1]) in französischen Kohlen folgende Beimengungen gefunden:

1. Weißer Anflug: Chlorammonium, Bromammonium, Jodammonium, Arsenigesäure, zuweilen Chloraluminium, selten Chlorberyllium.
2. Rother Anflug: Realgar in verschiedenen Zuständen.
3. Orange Anflug: Gemische der unter 1. genannten Stoffe mit Realgar, Auripigment und octaëdrischem Schwefel.
4. Gelber Anflug: Die vorigen Mineralien aber ohne Realgar.
5. Schwarzer Anflug: Arsenik, Ammoniumarsenit, Ammoniumsulfarseniat, Sulfite und Hyposulfite.
6. In dünnen Platten: Ammoniak- und Kalialaun, Aluminiumsulfat, Eisensulfat, Ammoniumsulfat, Chlor-, Brom- und Jodammonium, verschiedene Arsenverbindungen, krystallisirter Arsenik, Bleiglanz.

Deutsche Kohlen enthalten oft eingesprengten Kalkspath, welcher in größeren Mengen, namentlich bei gleichzeitigem Vorhandensein von viel Schwefelkies, die Erzielung übereinstimmender Aschenbestimmungen dadurch sehr erschwert, daß je nach dem Grade der Erhitzung mehr oder weniger desselben in Aetzkalk oder Sulfat verwandelt wird. In weitaus den meisten Fällen bleibt aber der durch derartige Beimischungen veranlaßte Fehler in der Aschenbestimmung unter $^1/_4$ Proc.

Fig. 120.

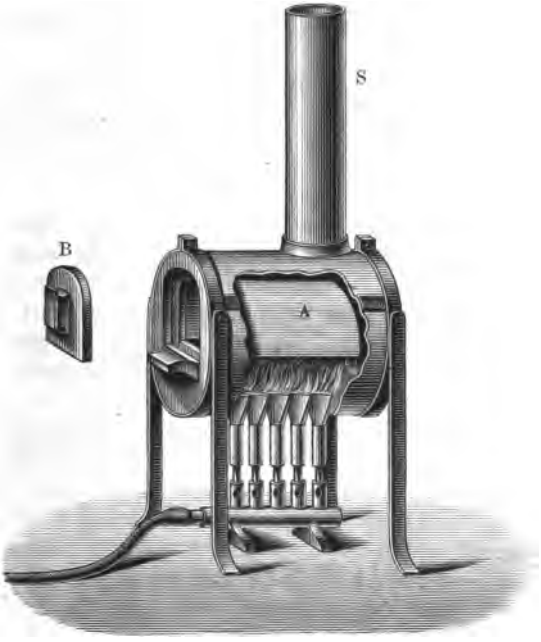


Zur Ausführung der Aschenbestimmung bringt man nun je nach dem erwarteten Aschengehalt 2 bis 5 g des zu untersuchenden Brennstoffes in die Platinschale oder einen schräg gelegten Platintiegel, wie Fig. 120 andeutet, erwärmt anfangs schwach, um das Backen der Kohle und das Verstäuben zu verhüten, und glüht dann stärker bis die Kohle völlig verbrannt ist, so daß zwei auf einander folgende Wägungen dasselbe Gewicht angeben. Hat man viele Bestimmungen auszuführen, so wird die Arbeit wesentlich dadurch erleichtert, daß man die in Schalen oder Tiegeln von Platin oder Porzellan befindlichen Proben in eine rothglühende Muffel stellt und von Zeit zu Zeit mit einem Platindraht umrührt,

[1]) Compt. rend. 86, 491.

bis eine völlige Verbrennung erreicht ist, was rascher der Fall ist, als auf offener Flamme. Sehr bequem ist namentlich der Gasmuffelofen von Wiesnegg (Fig. 121), dessen 150 mm lange, 100 mm breite und 65 mm hohe Muffel *A* aus Chamotte durch die fünfflammige Gaslampe mit verstellbaren flachen Aufsätzen leicht auf Rothglut gebracht werden kann. Der Deckel *B* wird nur lose vor die Muffel gesetzt. Die zwischen Muffel und Chamottemantel aufsteigenden Gase entweichen durch den Schornstein *S*.

Fig. 121.



Eine Schmelzprobe der Asche vor dem Löthrohr gibt Anhaltspunkte über das Verhalten derselben auf dem Rost. Wird eine Analyse derselben ausgeführt, so gibt die in bekannter Weise festgestellte Zusammensetzung derselben die erforderlichen Aufschlüsse.

Bestimmung des Schwefels. Nach Lassaigne [1]) kocht man die zu untersuchende Probe mit Königswasser und berechnet die Menge des vorhandenen Schwefelkieses aus der bei der Fällung mit Ammoniak erhaltenen Menge Eisenoxyd. Das Verfahren ist völlig unbrauchbar.

Fleck [2]) übergießt die feingeriebene Kohle in einem Kolben mit einer Lösung von dichromsaurem Kalium, fügt unter fortwährendem Erwärmen bis nahe zum Kochen so lange Salpetersäure hinzu, bis die Kohle völlig oxydirt ist, filtrirt, fällt mit Chlorbaryum und berechnet den Schwefel aus dem erhaltenen schwefelsauren Baryum.

Stein [3]) fand bereits, daß hierbei mit dem schwefelsauren Baryum stets Chromoxyd niederfällt. Er kocht daher die Probe mit Salzsäure und chlorsaurem

[1]) Dingl. 1843, 87, 302. — [2]) Steinkohlen Deutschlands, S. 214. — [3]) Steinkohlen Sachsens S. 9.

Kalium bis zur völligen Oxydation, dampft die überschüssige Säure größtentheils ab und fällt mit Chlorbaryum.

Pearson[1]) übergießt die auf Schwefel zu prüfende Probe in einer bedeckten Schale mit reiner Salpetersäure und fügt allmälig chlorsaures Kalium bis zur völligen Oxydation hinzu. Croßley[2]) kocht mit Salpetersäure unter Zusatz von etwas salpetersaurem Kalium.

Carius[3]) schmilzt die auf Schwefel zu untersuchende Probe mit Salpetersäure von 1,5 specif. Gewicht in ein Glasrohr ein, erhitzt und bestimmt die gebildete Schwefelsäure in bekannter Weise. Das Verfahren ist genau, für Brennstoffe aber zu lästig.

Calvert[4]) kocht die gepulverte Kohle 20 Stunden lang mit einer schwachen Sodalösung um die Schwefelsäure auszuziehen, wäscht aus und kocht dann mit Königswasser. Beim Kochen der dadurch erhaltenen Lösung ist darauf zu sehen, daß sich kein basisch schwefelsaures Eisenoxyd ausscheidet, andererseits darf aber auch nicht zu viel Salpetersäure zurückbleiben, da sonst ein Theil des schwefelsauren Baryums nicht ausfallen würde. Beim Schmelzen mit Salpeter hat Calvert stets zu wenig Schwefelsäure gefunden. Dagegen zeigt A. Bradbury[5]), daß der im Koks enthaltene Schwefel nur zum Theil in Form von Schwefelsäure und Schwefeleisen in demselben sich findet, zum größeren Theil ist er mit Kohlenstoff verbunden im Koks anzunehmen und in dieser Form ist er weder durch Salzsäure, noch durch Salpetersäure demselben zu entziehen und gelingt seine vollständige Bestimmung nicht durch wiederholtes Kochen des aufs Feinste gepulverten Koks mit Königswasser und Kaliumchlorat, da dieser nach der Behandlung mit dem Säuregemisch noch immer etwas Schwefel enthält.

Nach Beudant, Daguin und Rivot[6]) wird die Probe mit reiner Kalilauge erwärmt, mit 2 Volumen Wasser versetzt und dann wird Chlor eingeleitet. Nun wird angesäuert, der Chlorüberschuß durch Erwärmen entfernt und mit Chlorbaryum gefällt. Auch dieses Verfahren eignet sich nicht für Brennstoffe.

Kolbe[7]) erhitzt die auf Schwefel zu prüfende Substanz mit chlorsaurem Kalium und Soda, Debus[8]) mit chromsaurem Kalium und Soda, Russel[9]) mit Queckſilberoxyd und Soda; die gebildete Schwefelsäure wird mit Chlorbaryum gefällt.

Eschka[10]) erhitzt eine Stunde lang 1 g der zu untersuchenden Kohle mit 1 g Magnesiumoxyd und 0,5 g Soda in einem schief liegenden Platintiegel bei Luftzutritt unter öfterem Umrühren, reibt den erkalteten Rückstand mit 1 g salpetersaurem Ammonium zusammen, glüht mit aufgelegtem Deckel 5 bis 10 Minuten, löst in 200 ccm Wasser, verdampft auf 150 ccm, filtrirt, versetzt mit

---

[1]) Zeitschr. anal. Ch. 1870, 271. — [2]) Das. 1863, 95. — [3]) Annal. d. Chem. 136, 129. — [4]) Dingl. 1871, 202, 103. — [5]) Chem. News 38, 147. — [6]) Journ. pr. Ch. 61, 135. — [7]) Suppl. z. Handwörterb. d. Chem. S. 205. — [8]) Annal. d. Chem. 76, 90. — [9]) Journ. pr. Chem. 64, 230. — [10]) Dingl. 1874, 212, 403.

Salzsäure und fällt mit Chlorbaryum. Fresenius[1]) löst die Masse, statt sie mit salpetersaurem Ammonium zu glühen, in bromhaltiger Salzsäure.

In gleicher Weise mischt Stock[2]) die Kohle mit gleichen Gewichtstheilen Kalkhydrat, trocknet und erhitzt unter Umrühren bis zur Rothglut bis alle Kohle verbrannt ist. Nun wird salpetersaures Ammonium und Wasser zugesetzt, getrocknet, geglüht, in Salzsäure gelöst und mit Chlorbaryum gefällt.

Dunnington[3]) mischt die zu untersuchende Kohle mit 15 Thln. eines geschmolzenen Gemisches von 202 Thln. Salpeter und 53 Thln. kohlensaurem Natrium, dann mit 15 Thln. Magnesiumcarbonat, schmilzt im bedeckten Platintiegel, zieht die Schmelze mit Wasser aus, säuert mit Salzsäure an und fällt mit Chlorbaryum. Nach Kerl[4]) mischt man dagegen 1 g mit 16 g Chlornatrium, 8 g Salpeter und 4 g kohlensaures Kalium, löst in Wasser, säuert mit Salzsäure an, verdampft zur Abscheidung der Kieselsäure zur Trockne, löst wieder und fällt mit Chlorbaryum.

Wenn auch bei diesen letzteren Methoden durch die verschiedenen Zusätze die Heftigkeit der Oxydation erheblich gemäßigt ist, so treten doch sehr leicht Verluste ein. Ueberdem gestatten die bisher besprochenen Verfahren keine Trennung des sogenannten schädlichen Schwefels, d. h. desjenigen, der bei der Verbrennung als Schwefligsäure entweicht, von demjenigen, welcher in der Asche zurückbleibt. Um dieses zu erreichen muß der Schwefel der gasförmigen Verbrennungsproducte bestimmt werden.

Rollet[5]) führt zu diesem Zweck den Schwefel zunächst in Schwefelwasserstoff über. Der in einem Gefäße *A* (Fig. 122, a. f. S.) aus reinem Zink und verdünnter Schwefelsäure entwickelte Wasserstoff streicht durch drei Waschflaschen. Die erste *B* derselben enthält eine Auflösung von essigsaurem Blei, die zweite *C* eine Auflösung von Silbernitrat, jedoch so verdünnt, daß ein Niederschlagen des überschüssigen Silbers als metallisches Silber vermieden wird; die dritte Flasche *D* enthält reines Wasser, um die aus der zweiten Flasche mitgerissenen Substanzen zurückzuhalten. Die zu verwendende Kohlensäure wird dargestellt aus kohlensaurem Kalk der Flasche *E* und sehr verdünnter Salzsäure der Flasche *F*, die jedoch möglichst frei von Schwefel sein muß. Sie wird im richtigen Verhältniß in der zweiten Waschflasche *C* mit dem Wasserstoff gemischt. Das Gasgemisch wird nun durch Glasröhren, welche mit nicht vulkanisirten Kautschukschläuchen verbunden sind, in eine Porcellanröhre *G* von 25 mm lichter Weite, in deren Innerem sich die zu untersuchende Substanz befindet, geleitet. Die Porzellanröhre ist mit zwei einfach durchbohrten Korkpfropfen verschlossen und verkittet. Der Ofen besteht, wie der Querschnitt Fig. 123 zeigt, aus zwei ausgehauenen und mit Kupferblech belegten feuerfesten Steinen *S*, welche von zwei verschiebbaren kupfernen Stativen getragen werden, um die Höhe des Ganzen

---

[1]) Zeitschr. anal. Ch. 1878, 497. — [2]) Bolley, Untersuchungen S. 534. — [3]) Americ. Chem. 1876, 83. — [4]) Probirbuch S. 132. — [5]) Dingl. 1879, 233, 125.

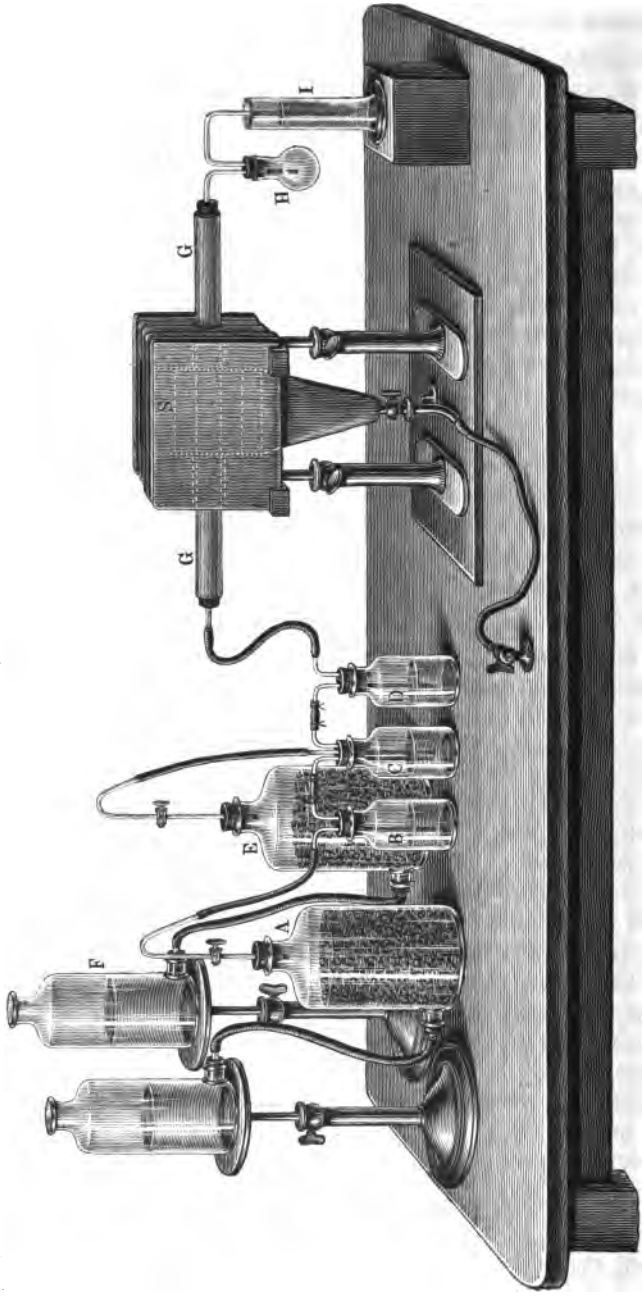
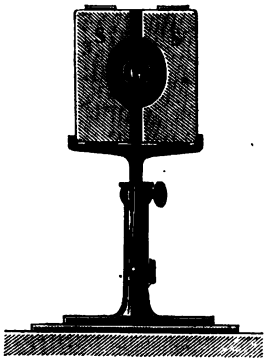


Fig. 122.

reguliren zu können. Das Erhitzen geschieht durch ein Fächergebläse mit Leuchtgas. Die Verbrennungsgase streichen zuerst durch einen kleinen Ballon *H*, wo sich der größte Theil des Wasserdampfes absetzt, der sich während der Operation gebildet hat und gehen von dort durch eine Lösung von Silbernitrat in den Cylinder *I*, wo sich der in der zu untersuchenden Substanz vorhanden gewesene Schwefel als Schwefelsilber niederschlägt. Die Silberlösung, welche sehr häufig gebraucht werden kann, wird dargestellt durch Auflösung von 16 bis 18 *g* Silbernitrat in 1 l Wasser und nachherige Neutralisation mit Ammoniak; derselben wird dann noch wieder 1 bis 2 Proc. Salpetersäure zugesetzt, um sie schwach sauer zu machen.

Fig. 123.



Bei der Ausführung der Bestimmung werden etwa 0,5 *g* der zu untersuchenden Kohlen oder Koks in einem Platinschiffchen in das Porzellanrohr gebracht. Dann leitet man durch entsprechende Hahnstellung ein Gemisch von 3 Thln. Wasserstoff und 1 Thl. Kohlensäure durch das Rohr und erhitzt zum Glühen. Ist nach etwa 2 Stunden die Kohle völlig verbrannt, so filtrirt man das gebildete Schwefelsilber ab und berechnet daraus den Schwefelgehalt. Da die bei der Verbrennung sich bildenden theerigen Bestandtheile, welche sich in dem kälteren Theil der Röhre ansetzen, Schwefel zurückhalten, so muß darauf Bedacht genommen werden, den kalten Theil der Röhre so kurz wie möglich zu halten; gleichzeitig wird derselbe mit Porzellanstücken ausgefüllt, um die theerigen Bestandtheile zurückzuhalten. Am Ende der Operation, d. h. wenn kein Kohlenstoff mehr in dem Schiffchen vorhanden ist, erhitzt man die Röhre nach und nach stärker, um die theerigen Bestandtheile zu verbrennen oder zu zersetzen.

Vorzuziehen ist die Verbrennung im Sauerstoff. Warren[1]) läßt die hierbei gebildete Schwefligsäure von einer Schicht Bleisuperoxyd absorbiren, Brügelmann[2]) von einer Schicht Kalk, in welchem dann die Schwefelsäure bestimmt wird. Mixter[3]) verbrennt in bromhaltigem Sauerstoff; sein Apparat ist aber unbequem. Besser ist der Vorschlag von Sauer[4]). Zur Bestimmung des Schwefels in Koks wird die Probe mit einem Schiffchen *b* (Fig. 124, a. f. S.) in ein Verbrennungsrohr gebracht und dieses erhitzt während Sauerstoff hindurchgeleitet wird. Die Verbrennungsgase streichen durch den Absorptionsapparat *c*, welcher bromhaltige Salzsäure erhält. Die dadurch gebildete Schwefelsäure wird mit Chlorbaryum gefällt.

Für flüchtige Brennstoffe soll der in Fig. 125 (a. f. S.) dargestellte Apparat verwendet werden. Zunächst wird die etwas verengte Stelle *b* des Verbrennungsrohres zum starken Glühen erhitzt, dann durch das Rohr *x* Sauerstoff zugeführt, die zu

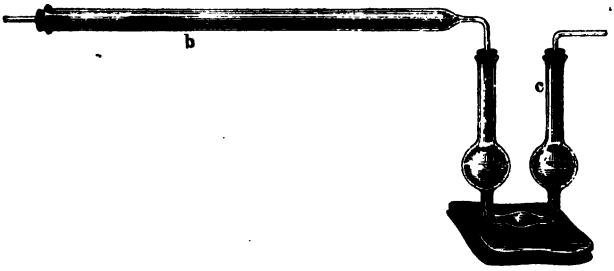
---

[1]) Zeitschr. anal. Ch. 1866 *169. — [2]) Das. 1876, 1 und * 76. — [3]) Das. 1873, *212. — [4]) Das. 1873, *32 u. 178.

untersuchende Probe im Schiffchen *d* erhitzt, so daß die entwickelten Gase bei *b* verbrennen. Die gebildeten Verbrennungsgase streichen durch die bromhaltige Salzsäure des Absorptionsapparates *y*. Schließlich führt man durch das Rohr *z* von *a* aus einen Strom Sauerstoff ein um die Gase zu verdrängen und den im Schiffchen gebliebenen Rückstand zu verbrennen.

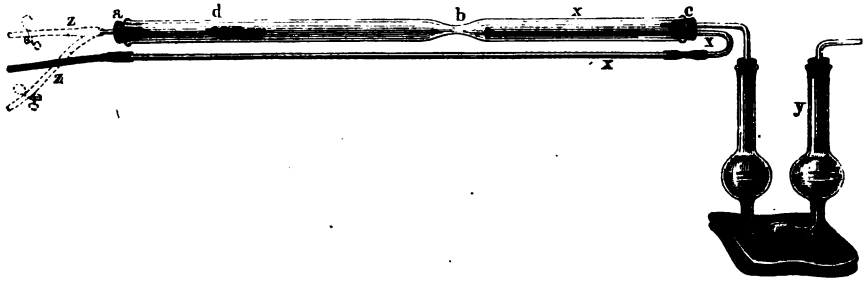
Diese Methode ist gut, doch wende ich ausschließlich den in Fig. 124 abgebildeten Apparat an, bringe jedoch in den vorderen Theil des Rohres vor das

Fig. 124.



Schiffchen *b* eine etwa 8 cm lange Schicht mit etwas Platinschwarz gemischten Asbest, der durch zwei in dünnes Platinblech gehüllte Asbestpfropfen eingeschlossen ist. Etwa nicht völlig verbrannte theerige Produkte werden durch Vermittelung dieser Schicht von glühendem Platinasbest leicht vollständig oxydirt, so daß bei einiger Vorsicht Verluste völlig ausgeschlossen sind. Der vordere frei gebliebene Theil der Röhre wird nach jedem Versuch mit wenig Wasser ausgespült, dieses

Fig. 125.



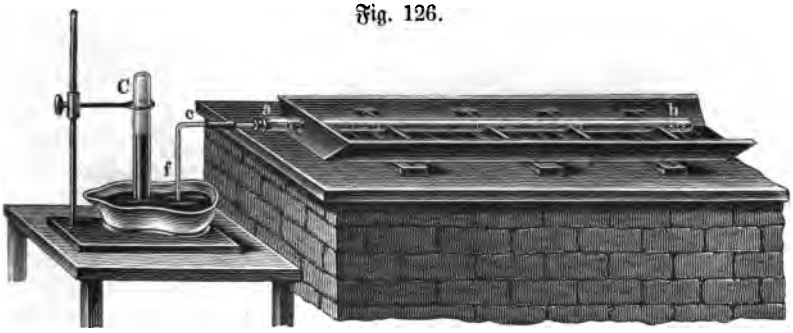
mit der bromhaltigen Salzsäure gemischt und die gebildete Schwefelsäure mit Chlorbaryum gefällt. 233 Thle. schwefelsaures Baryum entsprechen 32 Thle. Schwefel.

Nach Beendigung des Versuches wird der durchbohrte Stopfen am Ende des Rohres gelöst, das Schiffchen herausgenommen und die zurückgebliebene Asche gewogen. Man erhält damit eine Controle der ersten Aschenbestimmung. Ferner bestimmt man den Gehalt dieser Asche an sogenanntem unschädlichen Schwefel,

welcher fast ausschließlich als Schwefelsäure darin enthalten ist. Beide Bestimmungen zusammen geben den Gesammtschwefel.

Bestimmung des Stickstoffes. Nach Dumas bringt man in die 70 bis 80 cm lange Verbrennungsröhre *ab* (Fig. 126) eine 12 bis 15 cm lange Schicht Natriumbicarbonat, dann 4 cm Kupferoxyd, darauf das innige Gemenge von 0,5 bis 1 g des Brennstoffes mit Kupferoxyd, nochmals eine Schicht Kupferoxyd und

Fig. 126.



schließlich eine etwa 15 cm lange Schicht von Kupferdrehspänen. Nun verbindet man die im Verbrennungsofen liegende Röhre mit dem Gasleitungsrohre *cf*, und erhitzt das letzte Ende *b* zum Glühen, so daß die durch Zersetzung des Bicarbonates frei gewordene Kohlensäure die atmosphärische Luft völlig verdrängt. Ist dieses geschehen, werden somit die entweichenden Gasblasen von Kalilauge völlig absorbirt, so unterbricht man die weitere Zersetzung des Bicarbonates, bringt über das Gasentwickelungsrohr den getheilten Glascylinder *C*, welcher mit Quecksilber und einigen Cubikcentimetern Kalilauge gefüllt ist und erhitzt nun das Verbrennungsrohr von vorn beginnend und langsam nach hinten vorschreitend. Ist die Verbrennung beendet, so glüht man auch den Rest des Bicarbonates, um den sämmtlichen Stickstoff aus der Röhre in den Meßcylinder überzutreiben. Nachdem die Kalilauge alle mit dem Stickstoff vermischte Kohlensäure absorbirt hat, das Volum des in dem Meßcylinder befindlichen Gases nach mehrstündigem Stehen sich nicht mehr verringert, hebt man den unten verschlossenen Cylinder heraus, was passend durch Unterschiebung eines Schälchens geschehen kann, und taucht ihn so tief in einen weiten Cylinder mit Wasser, daß dieses nach dem Herunterfallen des Quecksilbers und der Kalilauge außen und innen gleich hoch steht und liest unter Berücksichtigung der Temperatur die Menge des erhaltenen Stickstoffes ab (s. Gasanalyse).

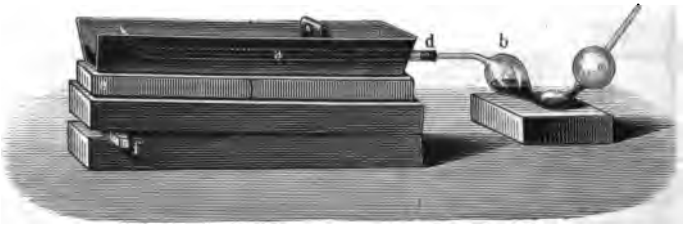
Statt des in Fig. 126 und 127 abgebildeten Liebig'schen Kohlenofen wird man überall, wo Leuchtgas zur Hand ist, einen der in Fig. 129 und 135 angegebenen Verbrennungsofen anwenden.

Dieses Verfahren ist zwar mehrfach abgeändert [1]), es ist aber immer etwas weniger bequem, als das folgende von Varrentrapp und Will, welches bei

[1]) Fresenius, Quantitative Analyse, 6. Auflage Bd. 2, S. 57.

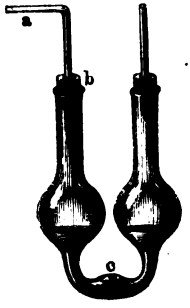
gleicher Genauigkeit daher meist vorgezogen wird. Man bringt in das hinten zur Spitze ausgezogene Verbrennungsrohr *a* (Fig. 127) erst etwas stickstofffreien Natronkalk, dann das Gemisch von Natronkalk mit etwa 1 g des fein gepulverten Brennstoffes, füllt das Rohr bis auf etwa 4 cm mit reinem Natronkalk nach und setzt einen lockeren Asbestpfropf vor, damit kein Kalk durch die entwickelten Gase mitgerissen wird. Nun verbindet man mit dem in einem Verbrennungsofen liegenden Rohr mittels eines gut schließenden Korkes *d* das Salzsäure von

Fig. 127.



1,07 specif. Gew. enthaltende Absorptionsgefäß *b*, und erhitzt das Rohr von vorn anfangend und langsam nach hinten fortschreitend. Ist die Verbrennung beendigt, hört somit die Gasentwickelung auf, so bricht man die Spitze des Verbrennungsrohres ab und saugt etwas Luft durch den Apparat, um somit auch den letzten Rest des gebildeten Ammoniaks in die Säure zu führen. Jetzt entleert man die saure Flüssigkeit in eine gewogene Schale, verdampft vorsichtig zur Trockne und wiegt den erhaltenen Salmiak; 53,5 mg desselben entsprechen 14 mg Stickstoff. Sicherer ist es allerdings, die noch nicht völlig zur Trockne verdampfte Flüssigkeit mit überschüssigem Platinchlorid zu versetzen, völlig zur Trockne zu verdampfen, mit einem Gemisch von 2 Thln. Alkohol und 1 Thl. Aether auszuziehen und aus dem so erhaltenen Platinsalmiak den Stickstoff zu berechnen.

Fig. 128.



Für alle technischen Zwecke ist es vorzuziehen, das Ammoniak nach Peligot alkalimetrisch zu bestimmen. Zu diesem Zwecke füllt man in den Absorptionsapparat (Fig. 128), der mittels des Glasrohres *ab* mit dem Verbrennungsrohr verbunden ist, 50 ccm Zehntelnormalsäure. Ist die Verbrennung beendigt, so titrirt man mittels Zehntelnormalalkali zurück. Jeder Cubikcentimeter Alkali, der jetzt weniger gebraucht wird, entspricht 1,4 mg Stickstoff. Da bei diesen Bestimmungen nicht selten stark gefärbte Stoffe mit übergehen, welche die Erkennung der Endreaction sehr erschweren, so empfiehlt es sich, wie schon Stein[1]) vorgeschlagen, zwischen Verbrennungsrohr und Absorptionsapparat ein Kölbchen mit

[1]) Steinkohlen Sachsens S. 8.

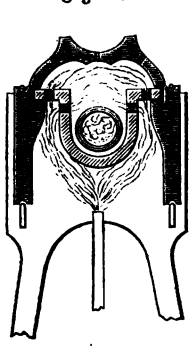
etwas Kalilauge einzuschalten. Nach Beendigung der Verbrennung saugt man langsam Luft durch den Apparat und erhitzt das Kölbchen zum Sieden, so daß nunmehr das reine Ammoniak von der Säure in dem Absorptionsapparate aufgenommen wird.

Hat man chlorfreien Natronkalk angewendet, so kann man durch Ausziehen des Rückstandes mit Wasser, Ansäuern mit Salpetersäure und Fällen mit Silbernitrat auch den Chlorgehalt des Brennstoffes bestimmen.

Bestimmung des Kohlenstoffs und Wasserstoffs. Cairns[1]) bestimmt nach dem Verfahren von Elliot[2]) den Kohlenstoffgehalt der Kohlen durch Oxydation mit Chromsäure und Schwefelsäure und Absorption der Kohlensäure durch Natronkalk. Das Verfahren ist in keiner Beziehung empfehlenswerth. Jedenfalls ist die Verbrennung der Probe im Sauerstoffstrom vorzuziehen.

Glaser[3]) empfiehlt hierfür den in Fig. 129 (a. f. S.) abgebildeten Apparat. Zwei eiserne Träger, die auf einer eisernen Platte zu Enden einer Anzahl Gasbrenner angeschraubt sind, tragen zwei parallellaufende unter sich verbundene Eisenschienen, senkrecht über diesen sind zwei Eisendrähte in die Träger eingezogen. Die oben und unten mit Rinnen versehenen Thonplatten können leicht zwischen Schienen und Draht eingezogen werden, und dienen als Träger für die Eisenstücke, welche die Rinne zur Aufnahme des Verbrennungsrohres bilden. Die durchlöcherten Thondeckel concentriren durch ihre eigenthümliche Form die Hitze auf das einliegende Glasrohr, wie der Durchschnitt (Fig. 130) andeutet. Die Verbrennungsröhre (Fig. 131 a. S. 125) enthält zwischen zwei Kupferdrahtnetzen bei *a* und *b* gekörntes Kupferoxyd, von *b* bis *c* eine oxydirte Kupferspirale, von *a* bis *d* das Platinschiffchen mit der Kohlenprobe, endlich bei *d* eine an einem Draht befestigte metallische Kupferspirale. Nach dem Einlegen der Röhre in den Ofen verbindet man durch Gummistopfen den vorderen Theil des Rohres mit einem Chlorcalciumrohr, den hinteren mit den Reinigungs- und Trockenapparaten. Von diesen enthält das Waschgefäß *a* (Fig. 129), welches durch den Schlauch *d* mit dem Sauerstoffgasometer, und das Gefäß a_1, welches durch den Schlauch *l* mit dem mit atmosphärischer Luft gefüllten Gasometer verbunden ist, Kalilauge, die Gefäße *b* und b_1 Natronkalk und obenauf Chlorcalcium. Das Chlorcalciumrohr *cc* führt durch das Glasrohr *g* und den Schlauch *f* sowohl Sauerstoff als gereinigte Luft zum Verbrennungsrohr. Vor Ausführung einer Analyse heizt man die Röhre im Verbrennungsofen an und läßt dann im trocknen Luftstrom erkalten. Die zu untersuchende Probe wird hierauf im Platinschiffchen eingeführt, und der vordere Theil der Röhre mit den gewogenen Absorptionsapparaten verbunden. Das

Fig. 130.



[1]) Dingl. 1872, 203, 470. — [2]) Das. 1870, 195, 91. — [3]) Zeitschr. anal. Chem. 1870, *393.

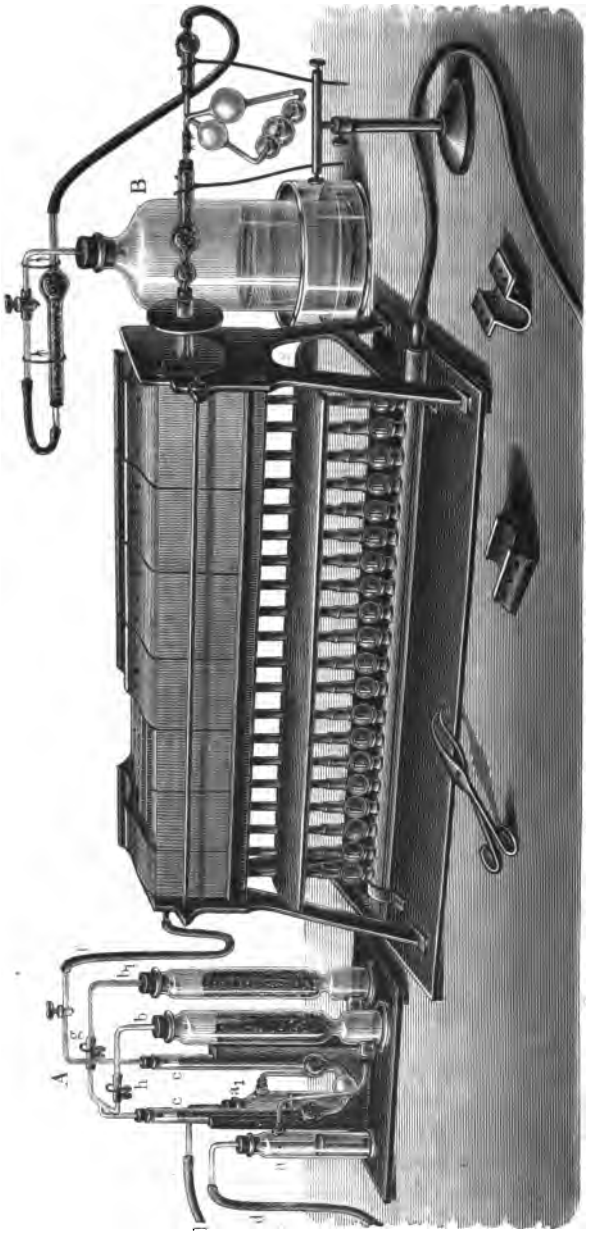
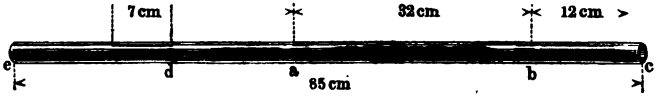


Fig. 129.

Kalischutzrohr des Liebig'schen Kohlensäureapparates steht mit dem Aspirator *B* in Verbindung. Nachdem der Glashahn des Trockenapparates geschlossen ist, wird der Hahn des Aspirators geöffnet und der vordere Theil des Verbrennungsrohres sowie die Kupferspirale am hinteren Ende zum schwachen Rothglühen erhitzt; hierauf öffnet man den Hahn des Trockenapparates und läßt einen sehr schwachen Sauerstoffstrom eintreten, der indeß vollkommen von der Kupferspirale in *de* aufgenommen wird und bloß verhindern soll, daß in diesen Theil der Röhre Verbrennungsprodukte gelangen. Die Erhitzung der Substanz geschieht nun je nach

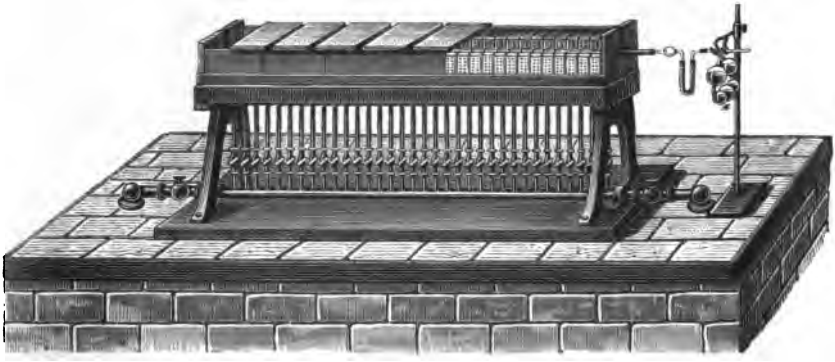
Fig. 131.



dem Grade der Flüchtigkeit entweder direct oder durch strahlende Wärme, wobei die Temperatur durch Auflegen oder Abnehmen des Deckels leicht geregelt werden kann. Wenn sich schließlich nur noch Kohle im Platinschiffchen befindet, so läßt man die Kupferspirale erkalten und einen stärkeren Sauerstoffstrom eintreten, der die Verbrennung vollendet und das reducirte Kupfer wieder in Oxyd verwandelt. Diese Oxydation wird im Luftstrome vollendet, dann werden die Glashähne geschlossen, die Absorptionsapparate abgenommen und gewogen.

Statt dieses Ofens kann man auch den allerdings weniger bequemen Holzkohlenofen, Fig. 127, verwenden, oder aber den in jeder Beziehung vorzüglichen Ofen von A. W. Hofmann [1]), welcher mit seinen Thonbrennern in Fig. 132 abgebildet

Fig. 132.



ist. Ebenso nimmt man mit Vortheil statt des wagerechten Chlorcalciumrohres das Uförmige *ab* (Fig. 133, a. f. S.), oder aber die von Volhard empfohlene Form Fig. 134.

Von Kopfer [2]) wurde vorgeschlagen, die organischen Stoffe in einem kurzen, theilweise mit Platinasbest gefüllten Rohr mittels Sauerstoffgas zu verbrennen.

[1]) Annal. d. Chem. 117, *39. — [2]) Zeitschr. anal. Chem. 1878 *1.

Für die Untersuchung von Brennstoffen ziehe ich dagegen den in den Figuren 135 und 136 in Vorderansicht und Schnitt in $^1/_3$ natürlicher Größe abgebildeten Apparat vor.

Die beiden Seitenbleche *b* und *p* sind unten mit der Bodenplatte, oben durch zwei starke Drähte *u* mit einander verbunden, gegen welche sich die Thonstücke *s* oben anlegen, welche unten in der auf beiden Seiten angebrachten Rinne *r*

Fig. 133.

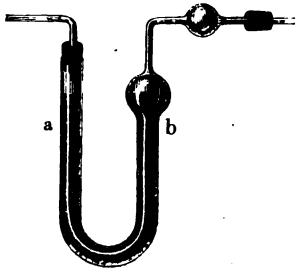
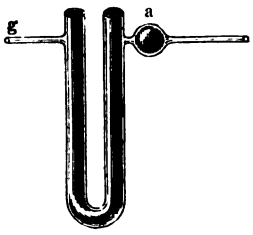
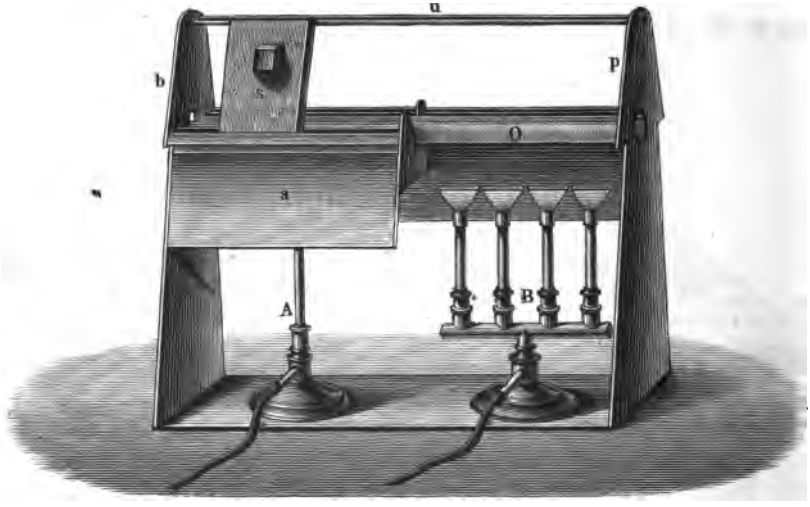


Fig. 134.



stehen. Dadurch werden in bekannter Weise die Flammen der untergestellten Brenner, welche durch die beiderseits angebrachten Bleche *a* gegen Zugluft geschützt

Fig. 135.



sind, gezwungen, das in der offenen, halbrunden Blechrinne *O* liegende Verbrennungsrohr völlig zu umgeben. In der Mitte ist die Rinne durch eine einfache Unterlage gestützt. Das an beiden Seiten offene Verbrennungsrohr (Fig. 137) enthält zwischen den beiden, in sehr dünnes Platinblech eingehüllten Asbestpfropfen *a* eine Schicht *n* körniges Kupferoxyd. Nach dem Einschieben des Platinschiff-

chens *m* mit der zu untersuchenden Probe wird das eine Ende *u* mit dem Sauerstoffgasometer, das andere *w* aber direct mit dem Chlorcalciumrohr verbunden.

Vor Anfang einer Versuchsreihe legt man das Verbrennungsrohr in die Blechrinne *O*, stellt die feuerfesten Steine oben gegen die Stangen *u* (Fig. 135) und erhitzt die Kupferoxydschicht durch die mit 3 oder 4 Flachbrennern versehene Lampe *B* (vor welcher in der Abbildung das Schutzblech *a* der Deutlichkeit wegen fortgelassen ist) zum Glühen, während für die andere Hälfte des Rohres ein einfacher Bunsenbrenner *A* genügt. Man leitet etwa 10 Minuten lang einen Strom atmosphärischer Luft, welcher durch eine Flasche mit Kalilauge und eine solche mit concentrirter Schwefelsäure gegangen ist, durch das Rohr und läßt es dann in diesem Luftstrom erkalten. Nun wird der Stopfen *u* gelöst, und die unter Luftabschluß (S. 108) bei 100° getrocknete Probe (etwa 300 mg) mit dem Platinschiffchen eingeschoben, der Stopfen sofort wieder eingesetzt und auf der anderen Seite das Chlorcalciumrohr eingeschoben. Mit dem Chlorcalciumrohr verbindet man noch ein kleines U-rohr, welches Glasperlen und einige Tropfen Schwefelsäure enthält, mit dem Chlorcalciumrohr zusammen gewogen wird und bestimmt ist, die letzten Spuren Wasser zurückzuhalten. Dann folgt der Liebig'sche Kaliapparat (Fig. 138), welcher soweit die Schattirung reicht, mit reiner Kalilauge von 1,3 bis 1,35 specif. Gew. gefüllt ist, und an dem Ende *b* ein Schwefelsäure-

Fig. 136.

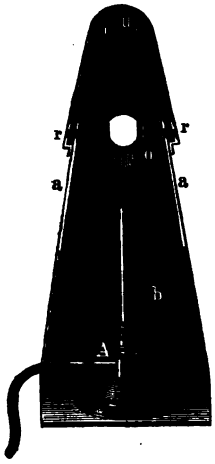
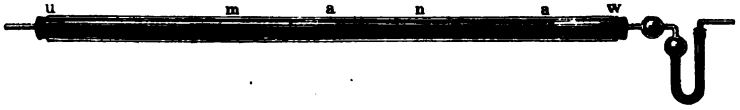


Fig. 137.

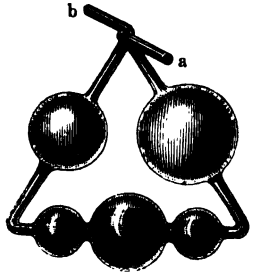


röhrchen trägt, welches wie das oben erwähnte die Feuchtigkeit zurückzuhalten hat; es wird mit dem Kaliapparate zusammen gewogen. Schließlich folgt ein nicht gewogenes Rohr mit Chlorcalcium oder etwas Schwefelsäure, um zu verhüten, daß von dem folgenden Luftsauger (als welchen man natürlich jede beliebige mit Heber versehene Flasche verwenden kann) Feuchtigkeit zu den gewogenen Röhren dringen kann.

Man bringt nun die Kupferoxydschicht mittels der Lampe *B* zur Rothglut, läßt dann einen langsamen Strom Sauerstoff in das Verbrennungsrohr eintreten, welcher eine Flasche mit Kalilauge und eine solche mit concentrirter Schwefelsäure durchstrichen hat, und erhitzt das Platinschiffchen mittels der einfachen Bunsenflamme, vom hinteren Ende anfangend und nach vorn allmälig vorschreitend bis alles Brennbare verschwunden ist. Nun sperrt man den Sauerstoffstrom ab und läßt mit Kali und Schwefelsäure behandelte Luft eintreten,

nimmt nach einigen Minuten Chlorcalcium- und Kaliapparat ab und wiegt. Inzwischen löscht man die Flammen und läßt das Rohr in demselben Luftstrom abkühlen. Nur sehr schwer verbrennliche Kohlen erfordern schließlich statt des einfachen Bunsenbrenners einen gewöhnlichen Dreibrenner zum Erhitzen des Platinschiffchens.

Fig. 138.



Hat man nach Beendigung der Verbrennung die Absorptionsröhren und die im Schiffchen zurückgebliebene Asche gewogen, so ist der Apparat sofort zur zweiten Analyse fertig. Ich glaube daher den Ofen als sehr handlich, billig und sparsam im Gasverbrauch empfehlen zu dürfen.

Es ist noch zu bemerken, daß das Vorlegen eines Silberbleches oder einer Kupferspirale wegen des geringen Chlor- und Stickstoffgehaltes überflüssig ist. Bedenklicher ist der Schwefelgehalt der Steinkohlen, welcher als Schwefligsäure und Schwefelsäure entweichen und das Chlorcalcium und selbst die Kalilauge verunreinigen und beschweren soll. Nach meinen Erfahrungen ist ein solcher Fehler nicht zu befürchten, namentlich wenn man den vorderen Theil der Kupferoxydschicht nur zur schwachen Rothglut erhitzt. Bei der Verbrennung von 300 mg einer Kohle mit 2,6 Proc. schädlichem Schwefel waren z. B. die aus dem Verbrennungsrohre, welches bereits zu wenigstens 20 Kohlenanalysen gedient hatte, entweichenden Gase völlig frei von derartigen Schwefelverbindungen, diese somit vom Kupferoxyd zurückgehalten. Es genügt daher nach 20 oder 30 Verbrennungen neues Kupferoxyd zu nehmen, oder doch das alte durch heftiges Glühen im hessischen Tiegel, etwa unter Mitwirkung von kohlensaurem Ammoniak, wieder brauchbar zu machen. Nur bei stark schwefelhaltigen Kohlen, z. B. Anthracit, dürfte es sich empfehlen, eine Schicht chromsaures Blei oder geschmolzenes dichromsaures Kalium vorzulegen, diese aber bei der Verbrennung nur schwach zu erwärmen. Schwieriger ist der Fehler zu vermeiden, welcher durch Zersetzung etwaiger Carbonate entsteht. Können diese zugegen sein, so wird eine Probe der Kohle in einem Kochfläschchen mit Wasser übergossen, dann werden einige Tropfen Salzsäure zugesetzt und die beim Kochen entweichenden Gase auf Kohlensäure geprüft, welche erforderlichen Falls quantitativ bestimmt wird.

Da die directe Bestimmung des Sauerstoffes in organischen Stoffen bis jetzt noch etwas bedenklich ist, so begnügt man sich damit, den Sauerstoffgehalt aus der Differenz als Rest zu bestimmen.

Folgendes Beispiel möge die Art der Berechnung erläutern:

				Procentgehalt d. Kohle
2,010 g Kohle geben	48 mg	Wasser		2,39
2,401 „ „ „	118 „	Asche		4,91
1,199 „ „ „	233 „	$BaSO_4$ oder	Schwefel	2,67
1,002 „ „ „	19 „	NH_3 oder	Stickstoff	1,56
0,299 „ geben bei der Verbrennung	829 mg	CO_2 oder	Kohlenstoff	75,61
0,299 „ „ „ „ „	107 „	H_2O „	Wasserstoff	3,96
Sauerstoff als Rest				8,90
				100,00

Das Verhalten der fossilen Brennstoffe gegen Kali, unterchlorigsaure Alkalien und Salpetersäure ist von Fremy[1]), Marsilly[2]) und Berthelot[3]) untersucht, ohne daß aber bis jetzt bemerkenswerthe Resultate erzielt wären.

Percy[4]) fand das Verhalten fossiler Brennstoffe, wenn sie bei gewöhnlicher Temperatur mit concentrirten Reagentien während mehrerer Jahre behandelt wurden, wie folgt:

Brennstoffe	Salpetersäure	Schwefelsäure	Ueberchlorsaures Natron	Kali
Braunkohlen	Völlig zersetzt, Lösung hellgelb; Rückstand weiß.	Völlig zersetzt, Lösung blaßorangeroth, Rückstand weiß.	Stark angegriffen; Lösung tiefroth und dick; Rückstand stark gefärbt.	Stark angegriffen; Lösung sehr tiefroth und dick; Rückstand stark gefärbt.
Steinkohlen	Stark angegriffen; Lösung gelblichgrün; Rückstand braun, dunkel.	Stark angegriffen; Lösung wie heller Portwein gefärbt; Rückstand stark gefärbt.	Wenig angegriffen, Lösung gelblich braun; Rückstand nahe schwarz.	Noch weniger angegriffen; Lösung hell gelblichgrün; Rückstand fast schwarz.
Anthracit	Scheinbar unangegriffen; ungefärbte Flüssigkeit; schwarzer Rückstand.	Wenig angegriffen; Lösung hellroth; Rückstand stark gefärbt.	Wenig angegriffen; Lösung hellgelb; Rückstand fast schwarz.	Sehr wenig angegriffen; Lösung gelblich gefärbt; Rückstand fast schwarz.

Guignet[5]) hat durch Behandeln der Steinkohle mit Phenol etwa 2 Proc. einer braunen Masse ausgezogen. Fein gepulverte Kohle mit Salpetersäure behandelt giebt Oxalsäure und Trinitroresorcin, Alkalien ziehen Huminsubstanzen aus. — Praktischen Werth haben diese Versuche noch nicht.

Bestimmung des Brennwerthes. Die Berechnung des Brennwerthes aus der Elementarzusammensetzung der Brennstoffe wird erst später bei der Theorie der Verbrennung besprochen werden können.

Berthier[6]) geht von der Hypothese aus, daß die aus verschiedenen Brennstoffen entwickelten Wärmemengen unter sich genau in demselben Verhältnisse wie die Sauerstoffmengen stehen, welche die Stoffe beim Verbrennen aufnehmen. Er beschränkt sich darauf, diesen Sauerstoff durch die Bleimengen zu bestimmen, welche die verschiedenen Brennstoffe beim Glühen mit Bleioxyd liefern. Zu diesem Zweck wird 1 g des trocknen, möglichst zerkleinerten Brennstoffes mit 20 bis 40 g fein gesiebter Bleiglätte gut gemischt, in einem Tiegel

[1]) Dingl. 1861, 162, 190. — [2]) Dingl. 1863, 167, 23. — [3]) Zeitschr. anal. Ch. 1869, 481. — [4]) Eng. Mining. J. 23, Nr. 11. — [5]) Compt. rend. 88, 590. — [6]) Dingl. 1835, 58, 391.

noch mit etwa 20 g Glätte bedeckt und dann allmählich zur Rothglut erhitzt. Nach etwa einer Stunde wird das gewonnene Bleikorn gewogen. 1 Thl. Kohlenstoff entspricht 34 Thln. Blei und 1 g Blei angeblich 235 W.-E. Schrötter[1]) verwendet in gleicher Weise Bleioxychlorid.

Thompson[2]) glüht die fein gepulverte Kohle mit Kaliumdichromat und bestimmt den Gewichtsverlust, dessen Höhe den Werth der Kohle angeben soll.

Derartige Brennwerthbestimmungen sind werthlos. Besser sind schon die Bestimmungen durch Verdampfungsversuche mit Dampfkesseln.

Smeaton scheint zuerst die Verdampfungskraft der Steinkohlen im Großen bestimmt zu haben; er fand i. J. 1772, daß 1 kg Kohle 7,88 kg Wasser von 100° verdampfte. Die folgenden Versuche von Ormesson, Garnier u. A. ergaben nur durchaus unbrauchbare Resultate, während die Heizversuche von Johnson[3]), sowie die von de la Beche und Playfair[4]) bereits mit großer Sorgfalt ausgeführt sind, wegen Nichtbeachtung der Verluste durch die Rauchgase aber doch nur einen beschränkten Werth haben. Dasselbe gilt von den mit so großem Aufwande an Geld und Arbeit ausgeführten Versuchen von Brix[5]), welcher zwar genau Barometerstand, Windrichtung, Beschaffenheit des Wetters und dergleichen angiebt, dagegen die Rauchgase nicht untersucht hat, weil der dafür angeschaffte Apparat (a. a. O. * S. 11 und 29) in der That völlig unbrauchbar war. Bedenklich ist auch die geringe Menge der zu einem Versuche angewendeten Brennstoffe, die nur 150 bis 400 kg (bei Holz und Torf bis 600 kg) betrug, während man zum Anheizen des Kessels bis 145 kg Holz benutzte. So wurden z. B. 45 kg Holz zum Anheizen und nur 150 kg des zu untersuchenden Brennstoffes verwendet (a. a. O. S. 137 und 143).

Marozeau[6]) fand:

Art des Brennmateriales	Aschengehalt	Dampfmenge für 1 kg	Rauchtemperatur
Ronchamp	14,0	7,98	183°
„	14,2	8,44	90
Gemisch von $^2/_3$ Creuzot und $^1/_3$ Ronchamp	10,6	8,97	86

Nimmt man nun mit Peclet an, daß

1) das Volum des Rauches gleich dem der eingeführten auf gleiche Spannung und Temperatur bezogenen Luft sei,
2) die Wärmecapacität des Rauches 0,25 betrage,
3) das Gewicht P eines Luftvolums V von der Spannung 760 mm durch die Formel $P = 1{,}3\ V$ erhalten werde, so ist die Wärme, welche durch den Rauch verloren geht: $0{,}25\ x\ 1{,}3\ V(T-t)$. $0{,}325\ V(T-t)$.

---

[1]) Dingl. 1850, **116**, 115. — [2]) Eng. Mining. J. **1876**, Nr. 16. — [3]) Dingl. 1845, **98**, 133. — [4]) Das. 1848, **110**, 212; 1849, **114**, 345. — [5]) Untersuchungen über die Heizkraft der Brennstoffe Preußens (Berlin 1853). — [6]) Bull. Muhlh. **33**, 439; Dingl. 1850, **117**, 244.

Das Volumen V wird mit Hülfe folgender Ueberlegung gewonnen. Die von dem Vorwärmer absorbirte Wärme ist gleich der durch den Rauch verlorenen Wärme, somit: $p\,O = 0{,}325\,V\,(T - t)$ oder

$$V = \frac{p\,O}{0{,}325\,(T - t)}$$

wo p die durch den Vorwärmer für 1 kg gehende Wassermenge und O die Temperaturerhöhung in diesem Wasser bedeutet.

Da sich nach Angabe von Marozeau das Luftvolumen bei allen Versuchen nicht wesentlich änderte und zwar gegen 15 cbm betrug, so erhält man, wenn die Heizkraft von Ronchamp-Kohle wie oben zu 7872 Wärmeeinheiten, die des Gemisches von Creuzot und Ronchamp nach Scheurer-Kestner um $^{21}/_{1000}$ mal größer als von Ronchamp-Kohle allein, somit 8037 Wärmeeinheiten angenommen wird:

Lauf. Nr. des Versuchs	Vom Dampf absorbirte Wärmemenge absolut	in Procenten	In den Verbrennungsgasen abgehende Wärme absolut	in Procenten	Durch Leitung und Strahlung verlorene Wärmemenge absolut	in Procenten
1	5187	65,9	892	11,3	1793	22,8
2	5486	69,7	439	5,6	1947	24,7
3	5831	72,5	419	5,2	1787	22,3

Viel mehr Vertrauen verdienen die an einem Betriebskessel ausgeführten Versuche von Hartig [1]), für die je 1500 kg Kohlen verwendet wurden. Leider sind aber die Temperaturen der abziehenden Gase zu selten bestimmt (innerhalb 24 Stunden meist nur 2 bis 3 Mal), die Zusammensetzung derselben ist aber gar nicht berücksichtigt. Jedenfalls sind die Ergebnisse dieser Arbeit insofern werthvoll, als sie zeigen, daß beim praktischen Dampfkesselbetrieb 42 bis 71 Procent der aus der Elementaranalyse der Kohlen berechneten theoretischen Heizkraft für die Dampfbildung nutzbar gemacht werden (a. a. O. S. 465). Brix hatte mit seinem Versuchskessel für Steinkohlen 52 bis 75 Proc. gefunden; ähnlich Johnson, Playfair und C. v. Hauer [2]), so daß danach Stein [3]) annimmt, der praktische Nutzwerth der Kohlen betrage $^2/_3$ des aus ihrer Zusammensetzung berechneten Brennwerthes.

Scheurer-Kestner [4]) hat das Verdienst, zuerst gezeigt zu haben, wie die einzelnen Wärmeverluste bei Dampfkesselfeuerungen bestimmt werden können. Nennt man nach ihm v das Volumen der Kohlensäure, v' das von Kohlenoxyd, v'' das Volumen des Kohlenstoffes in Gasform, v''' das Volumen des überflüssigen Sauerstoffes, c das Gewicht des in der Kohlensäure, dem Kohlenoxyd sowie Kohlenwasserstoff enthaltenen Kohlenstoffes, C das Gewicht des in einem Kilogramm der Kohle enthaltenen Kohlenstoffes, x und X die Volumina Sauer-

[1]) E. Hartig: Untersuchungen über die Heizkraft der Steinkohlen Sachsens (Leipzig 1860). — [2]) C. v. Hauer: Die fossilen Kohlen Oesterreichs, 1862. — [3]) Stein: Untersuchung der Steinkohlen Sachsens, 1857, S. 26. — [4]) Bull. Mulh. 1868, 744; 1869, 241; 1871, 191; Dingl. 1870, 196, *22; 1871, 200, 459; 202, 312; Bayer. Ind. Gew. 1878, 223.

stoff und Luft, welche von 1 kg Kohle verbraucht werden; und endlich y das Gesammtvolum des anfänglich vorhandenen Sauerstoffes. Es ist dann

$$y = v + \frac{v'}{2} + v''', c = \frac{v \times 1{,}966 \times 6}{22} + \frac{v' \times 1{,}251 \times 6}{14} + v'' \times 1{,}072$$

wobei 1,966 g das Gewicht von 1 Liter Kohlensäure,
1,251 „ „ „ „ „ „ Kohlenoxyd,
1,071 „ „ „ „ „ „ Kohlenstoff in Gasform

und 6, 22, 14 die Aequivalentzahlen von Kohlenstoff, Kohlensäure und Kohlenoxydgas bedeuten.

Sieht man vorerst von der Verbrennung des in der Kohle enthaltenen Wasserstoffes ab, und bestimmt man durch eine Gasanalyse procentisch den Gehalt der Rauchgase an Kohlenstoff und Sauerstoff, so ist der Quotient dieser beiden Größen gleich dem Verhältniß des in 1 kg Brennmaterial enthaltenen Kohlenstoffes zu dem für 1 kg bei der Verbrennung aufgenommenen Sauerstoffes, und es besteht das Verhältniß:

$$\frac{c}{y} = \frac{C}{x} \text{ oder } x = \frac{C}{c} y = \frac{C}{c}\left(v + \frac{v'}{2} + v'''\right).$$

Diesem Sauerstoff ist noch die durch Verbrennung des Wasserstoffes in der Kohle verschwundenen Sauerstoffes (a) zuzuzählen, so daß das totale für jedes Kilogramm Brennmaterial in den Herd tretende Volum Sauerstoff durch die Formel $x' = \frac{C}{c}\left(v + \frac{v'}{2} + v'''\right) + a$ gegeben ist. Da endlich die Luft ein $\frac{100}{20{,}97} = 4{,}761$ mal größeres Volumen besitzt als der in ihr enthaltene Sauerstoff, so erhält man die gesammte für jedes Kilogramm Brennmaterial unter den Rost tretende Luftmenge gleich $X = \frac{C}{c}\left(v + \frac{v'}{v} + v''' + a\right) 4{,}761.$

Indem Scheurer-Kestner einen Theil der Rauchgase abfing, und denselben analysirte, hat er mit Hülfe der eben abgeleiteten Formel, die zur Verbrennung dienende Luft berechnet. Die eben besprochenen Beobachtungen machten es möglich, alle einzelnen Wärmeverluste zu berechnen, so daß Scheurer-Kestner für eine Reihe von Brennmaterialien folgende Tabelle zusammenstellen konnte:

Art der Brennkohle	Wärmemenge mit dem Calorimeter (S. 152) gefunden	Wärmemenge in dem gebildeten Dampf	Wärmeverlust durch die in den Kamin tretende Luft	Wärmeverlust durch die gebildeten Verbrennungsgase	Wärmeverlust durch den Ruß	Wärmeverlust durch den Wasserdampf im Rauch	Wärmeverlust durch Strahlung und Leitung
Ronchamp a.	9081	5681	403	790	70	274	1863
„ b.	9117	5976	429	580	35	265	1832
Friedrichsthal	8457	5041	320	749	63	282	2002
Dudweiler.	8724	5379	425	499	33	288	2100
Louisenthal	8215	4752	315	802	61	295	1990
Altenwald	8633	5393	407	498	34	303	1998
Heinitz	8487	5111	369	604	49	268	2086
Sulzbach	8451	5059	450	477	33	303	2126
v. d. Heydt	8462	5037	421	624	49	321	2010
Blanzy a	8325	4831	414	816	62	335	1867
„ b	9100	5666	615	447	35	288	2049
Creusot	9412	5966	817	232	35	224	2138
Gemisch von $^2/_3$ a	9310	6411	562	224	35	233	1848
Creuzot und $^1/_3$ Ronch. b .	9310	6313	619	228	36	246	1868
Holzkohle	8080	4970	687	210	—	—	2213

Darnach finden sich im Mittel von der Gesammtwärmemenge:

in dem Dampf	60,5
in der Asche	1,5
in den durch den Kamin entweichenden Produkten, nämlich:	
in der Luft	5,5
in den Verbrennungsgasen	5,9
in dem Ruß	0,5
im Wasserdampf des Rauches	2,5
in dem Verlust durch das Mauerwerk	24,5
	100,00

Leider war die Untersuchung der Rauchgase noch mangelhaft [1]), so daß die gefundenen Werthe nicht ganz zuverlässig sind. Dasselbe gilt von den Versuchen Weinhold's [2]); derselbe bezeichnet mit c den Kohlenstoff, dessen Theil c_1 zu Kohlen-

[1]) Dingl. 1878, 227, 175. — [2]) Das. 1876, 219, 25.

säure, c_2 zu Kohlenoxyd verbrennt, mit h den Wasserstoff, o den Sauerstoff, w das Wasser, a die Asche, mit W die Verbrennungswärme und mit T die Verbrennungstemperatur. Nun entsteht bei der Verbrennung aus h die Wassermenge $9h$, aus c_1 die Kohlensäuremenge $\frac{11c_1}{3}$ und aus c_2 die Kohlenoxydmenge $\frac{7c_2}{3}$ mit einem Sauerstoffgehalte $= 8h + \frac{8c_1}{3} + \frac{4c_2}{3}$. Von diesem stammen aus der Luft $8h + \frac{8c_1}{3} + \frac{4c_2}{3} - 0$, somit enthalten die Rauchgase außer den Verbrennungsprodukten noch $(n-1)\left(8h + \frac{8c_1}{3} + \frac{4c_2}{3} - 0\right)$ Sauerstoff, $\frac{77n}{23}\left(8h + \frac{8c_1}{3} + \frac{4c_2}{3} - 0\right)$ Stickstoff und die aus dem Wassergehalte des Brennstoffes herrührende Menge Wasserdampf w. Dann ergiebt sich die Gleichung (s. f. S.):

Wird die Luft der Feuerung mit der Temperatur t zugeführt, so verkleinert sich V um den Werth $tn\,(8{,}28h + 2{,}76c_1 + 1{,}38c_2 - 1{,}03o)$, während sich $\mathfrak{Q}$ um ebensoviel vergrößert. Die Bezeichnung nutzbare Wärmemenge für $\mathfrak{Q}$ ist übrigens insofern keine ganz correcte, als diese Wärmemenge nicht ausschließlich zur Erwärmung des eigentlichen Heizobjectes — also beispielsweise des Kessels —, sondern auch zur Erwärmung des umgebenden Mauerwerkes und dergleichen dient.

Diese Art der Berechnung ist etwas schwerfällig und nicht ganz genau.

Leider sind auch bei den von R. Weinlig [1]) mit so großer Sorgfalt ausgeführten Verdampfungsversuchen die Rauchgase von Alberti und W. Hempel [2]) nach einer geradezu unglücklichen Methode untersucht (daß die Rauchgasanalysen durchaus falsch sind, ergiebt sich auf den ersten Blick aus den mitgetheilten Zahlen, namentlich der Versuchsreihe L), so daß die erhaltenen Resultate zwar von praktischem Werthe sind, nicht aber eine Trennung und Bestimmung der einzelnen Verlustquellen zulassen. Wie sehr verschieden aber die Resultate sein können, wenn diese Verluste, namentlich die durch die abziehenden Rauchgase herbeigeführten, nicht genau berücksichtigt werden, zeigen die von der Industriegesellschaft in Mülhausen seit dem Jahre 1860 ausgeführten Preisheizversuche [3]). Die betreffenden Heizer sind vorher nach einem gleichen System unterrichtet und haben dann an dem gleichen Kessel längere Zeit den Herd zu bedienen. Es wird die Menge der verbrauchten Brennstoffe, deren Rückstände und die erhaltene Dampfmenge bestimmt. Nachfolgende Tabelle zeigt die Mittelwerthe der so erhaltenen Resultate:

---

[1]) Technische Mittheilungen des Magdeburger Vereins für Dampfkessel 1877, Heft 6. — [2]) Vergl. 1878, **228**, 439. — [3]) Bull. Muhlh. 1860, 335 bis 1877, 513.

$$W + tn\left[0{,}218\left(8h + \frac{8}{3}c_1 + \frac{4}{3}c_2 - o\right) + 0{,}244\,\frac{77}{23}\left(8h + \frac{8}{3}c_1 + \frac{4}{3}c_2 - o\right)\right]$$
$$= T\left[0{,}25\,a + 0{,}202\,\frac{11}{3}c_1 + 0{,}245\,\frac{7}{3}c_2 + 0{,}218\,(n-1)\left(8h + \frac{8}{3}c_1 + \frac{4}{3}c_2 - o\right) + 0{,}244\,\frac{77}{23}n\left(8h + \frac{8}{3}c_1 + \frac{4}{3}c_2 - o\right)\right]$$
$$+ (9h + w)(536 + 100) + 0{,}475\,(9h + w)(T - 100)$$

und daraus:

$$T = \frac{W + tn\,(8{,}279\,h + 2{,}760\,c_1 + 1{,}380\,c_2 - 1{,}035\,o) - 5297\,h - 588{,}5\,w}{0{,}25\,a + 0{,}475\,w + 0{,}1593\,c_1 + 0{,}2810\,c_2 + 2{,}531\,h + 0{,}218\,o + n\,(8{,}279\,h + 2{,}760\,c_1 + 1{,}380\,c_2 - 1{,}035\,o)},$$

oder etwas mehr abgerundet

$$T = \frac{W + tn\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}03\,o) - 5300\,h - 589\,w}{0{,}25\,a + 0{,}48\,w + 0{,}16\,c_1 + 0{,}28\,c_2 + 2{,}53\,h + 0{,}22\,o + n\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}30\,o)},$$

oder nach dem Einsetzen der richtigeren Zahlen [1]) für die specifische Wärme der Gase

$$T = \frac{W + tn\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}03\,o) - 5300\,h - 588\,w}{0{,}25\,a + 0{,}48\,w + 0{,}22\,c_1 + 0{,}28\,c_2 + 2{,}59\,h + 0{,}22\,o + n\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}03\,o)}$$

und für gewöhnliche Feuerungen $t = 0$ gesetzt:

$$T = \frac{W - 5300\,h - 588\,w}{0{,}25\,a + 0{,}48\,w + 0{,}22\,c_1 + 0{,}28\,c_2 + 2{,}59\,h + 0{,}22\,o + n\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}03\,o)}.$$

Entweichen die Verbrennungsgase mit der Temperatur t, so ist die nutzbare Wärmemenge

$$\mathfrak{Q} = (T - t)\,[0{,}48\,w + 0{,}22\,c_1 + 0{,}28\,c_2 + 2{,}59\,h + 0{,}22\,o + n\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}03\,o)]$$

und der Wärmeverlust

$$V = \mathfrak{W} - W + 0{,}25\,a\,T + t[0{,}48\,w + 0{,}22\,c_1 + 0{,}28\,c_2 + 2{,}59\,h + 0{,}22\,o + n\,(8{,}28\,h + 2{,}76\,c_1 + 1{,}38\,c_2 - 1{,}03\,o)]$$
$$+ 588\,(9h + w),$$

wenn mit $\mathfrak{W}$ die Gesammtverbrennungswärme bezeichnet wird.

[1]) Dingl. 1879, 234, 343.

Jahrgang	Aschengehalt der Kohle	Von 1 kg verdampfte Wassermenge		Procentischer Unterschied in der Leistung der Heizer
		bei 10 Proc. Aschengehalt	für brennbare Substanz	
1861	9,6	6,93	7,68	15,3
1862	10,8	7,59	8,35	4,2
1863	12,4	7,43	8,25	18,7
1864	13,3	7,55	8,39	10,4
1865	21,6	7,67	8,51	9,6
1866	20,9	6,47	7,18	28,2
1867	17,7	7,64	8,48	16,6
1868	11,0	7,41	8,22	7,5
1869	16,1	7,24	8,02	8,0
1873	23,4	8,40	9,33	—
1874	17,1	8,31	9,22	7,1
1875	18,4	9,03	10,02	10,0
1877	7,6	8,74	9,69	8,5

Der Unterschied in den Leistungen der einzelnen Heizer beträgt also bis 28 Proc. Ja als im Jahre 1863 drei der Heizer sich einer engeren Concurrenz unterwarfen, verdampften sie mit 1 kg aschenfreier Kohle 8,45, 8,24 und 8,17 kg Wasser, unmittelbar vorher, also unter genau denselben Verhältnissen, aber nur 7,37, 7,37 und 7,30 kg. Wenn solche Unterschiede durch gleichmäßig gut geschulte Heizer, an derselben Kesselanlage und mit denselben Brennstoffen vorkommen, welche wohl nur auf die Beschaffenheit der abziehenden Rauchgase zurückzuführen sind, so wird man zugeben, daß der Werth der Versuche, bei denen nur die Temperatur der Rauchgase bestimmt ist und mehr noch derjenigen [1]), bei denen selbst die Temperatur gar nicht oder doch sehr mangelhaft berücksichtigt ist, in keinem Verhältniß zu dem Aufwande an Arbeit und Geld stehen, welchen sie erfordert haben. Nur wenn die Ursachen der einzelnen Verluste genau und unter den verschiedensten Verhältnissen festgestellt werden, können solche Heizversuche ihren Zweck erfüllen.

Bei der Ausführung von Heizversuchen mit Dampfkesseln, um den Heizwerth eines Brennstoffes festzustellen, ist nun zu bestimmen, wie viel Wasser mit 1 kg des Brennstoffes verdampft wird.

Die Menge des dem Dampfkessel während des Versuches zugeführten Wassers ist leicht durch Wiegen oder Messen festzustellen [2]). Schwieriger ist es zu er-

[1]) Zusammengestellt, Dingl. 1879, 232, *238. — [2]) Dingl 1876, 219, *19.

reichen, daß nach Beendigung des Verdampfungsversuches im Kessel genau dieselbe Wassermenge vorhanden ist als bei Anfang desselben. Selbst bei Berücksichtigung der Ausdehnung des Kessels [1]) und des Wassers werden hier leicht Fehler gemacht, welche nur durch längere Dauer der Versuche, wie sie z. B. Hartig und Weinlig ausführten, unmerklich werden.

Die Menge des zugeführten Speisewassers darf aber noch nicht als wirklich verdampft angesehen werden, da der Dampf aus verschiedenen Dampfkesseln oft erhebliche Wassermengen (bis 20 Proc.) mit sich fortreißt, falls keine Dampftrockner [2]) angewendet werden.

Den Wassergehalt des Dampfes bestimmt Hallauer [3]) aus der durch die Condensation einer bestimmten Dampfmenge frei werdenden Wärme; ebenso Hugentobler [4]). Diese von Hirn angegebene Methode leidet nach C. Linde [5]) an dem Fehler, daß sehr feine Wägungen eines schweren Calorimeters nöthig sind, so daß der Versuch nur dann richtige Resultate geben kann, wenn genaue physikalische Instrumente zur Verfügung stehen. Derselbe hat daher statt eines Einspritzcondensators einen Oberflächencondensator angewendet. Linde hat aber bis jetzt mit dem Apparate sehr eigenthümliche Resultate gefunden, aus denen er schließt, daß die Angaben der elsässischen Ingenieure nicht richtig sein können. Er fand nämlich bei einer Reihe von Versuchen genau trockenen, gesättigten Dampf, aus dem Condensationsproceß der Dampfmaschine aber einen Wassergehalt des Dampfes von 7 bis 12 Proc. Er erklärt dies daraus, daß der Dampf in der Richtung des Hauptrohres an der Mündung des rechtwinklig angesetzten Dampfröhrchens vorbeiströmt nnd somit rechtwinklig abgelenkt werden muß. Das mitgerissene Wasser geht nnn vermöge seines specifischen Gewichtes einfach an der Oeffnung vorbei und es geht nur der rein gesättigte Dampf hinein. Es bleibt also nichts übrig, als das Rohr in die Richtung des Hauptrohres umzubiegen. Aber auch da wird der Versuch nur dann richtig sein, wenn das Verhältniß der beiden Rohrquerschnitte dasselbe ist, wie das Verhältniß der Dampfmengen in beiden Röhren; denn wenn das Dampfröhrchen einen verhältnißmäßig größeren Querschnitt hat, so wird sämmtliches Wasser, welches in dasselbe eintritt, mitgehen, während der Dampf sich natürlich nach der Menge, welche der Hahn durchläßt, regelt. Linde glaubt daher, daß diese Methode, von der man sich so viel versprochen hat, sehr mißlich ist und große Sorgfalt erheischt. Für vollkommen zuverlässig hält er sie vorläufig nur dann, wenn die Condensation und Messung sich auf die gesammte Dampfmenge erstreckt, was natürlich nur bei kleinen oder bei solchen Kesselanlagen durchführbar erscheint, welche speciell zu Versuchszwecken eingerichtet sind.

Knight [6]) und in fast gleicher Weise Guzzi füllen ein Kupfergefäß mit dem zu untersuchenden Dampfe und bestimmen den Wassergehalt durch Wägung. Es

---

[1]) Hartig, Steinkohlen Sachsens, S. 21. — [2]) Dingl. 1873, 207, *353; 1875, 218, *92; 1878, 227, *123; 1879, 232, *215. — [3]) Dingl. 1875, 215, *512. — [4]) Dingl. 1878, 227, 331. — [5]) Dingl. 1879, 232, *240. — [6]) Dingl. 1878, 227, *328.

ist aber zweifelhaft, ob der in dem Gefäße abgesperrte Dampf denselben Wassergehalt hat als der aus dem Kessel entweichende.

Einfacher und zuverlässiger ist es jedenfalls, eine beliebige Dampfmenge zu condensiren und in dem erhaltenen Wasser Chlor, Schwefelsäure oder sonst einen leicht nachweisbaren Bestandtheil des Kesselwassers zu bestimmen, woraus sich sofort das Verhältniß von Dampf und mitgerissenem Wasser ergiebt.

Die Menge des verwendeten Brennstoffes wird einfach durch Wägung bestimmt. Da es aber sehr schwierig ist festzustellen, ob der Kessel und das Mauerwerk nach dem Versuche genau dieselbe Wärmemenge enthalten als vorher, so müssen auch aus diesem Grunde die Versuche möglichst lange dauern. Solche von nur 3 bis 5 Stunden Dauer sind werthlos.

Es ist nun ferner festzustellen, wie viel von der Wärme, welche der Brennstoff überhaupt liefern kann, nicht zur Dampfbildung verwerthet wurde und wodurch dieser Verlust veranlaßt wird. Als solche Verlustquellen sind aber zu betrachten:

1. Unvollkommene Verbrennung.
2. Die Wärmemengen, welche mit den festen Verbrennungsrückständen vom Roste entfernt werden.
3. Jene, welche in Folge der höheren Temperatur der Rauchgase in den Schornstein entweichen.
4. Leitung und Strahlung.

1. Wird der Kesselfeuerung nicht die zur völligen Verbrennung erforderliche Menge Sauerstoff mit der atmosphärischen Luft zugeführt, oder werden die aus dem Brennstoff entwickelten Gase vor ihrer Vereinigung mit dem Sauerstoff unter ihre Entzündungstemperatur abgekühlt [1]), so scheidet sich Ruß ab und die Rauchgase enthalten Kohlenoxyd, seltener Kohlenwasserstoffe. Während der Verlust durch Rußbildung kaum mehr als 2 Proc. betragen kann, ist der durch Kohlenoxydbildung zuweilen sehr erheblich. Thompson [2]) giebt an, daß bei 42 Dampfkesseln 42 Procent des gesammten Brennwerthes durch Kohlenoxydbildung und 12 Procent durch Leitung und Strahlung verloren gingen. Leider ist die Art der Untersuchung, nach der in den Rauchgasen 8 Proc. Kohlensäure, 9 Proc. Sauerstoff und 8 Proc. Kohlenoxyd enthalten gewesen sein sollen, nicht angegeben, auch keine Rücksicht auf die Temperatur genommen, so daß die Angaben sehr zweifelhaft sind.

Bezeichnet man das Gewicht der einzelnen Gemengtheile eines Gases mit g, $g_1 \ldots g_n$ und ihre Verbrennungswärme mit w, $w_1 \ldots w_n$, so ist die Verbren-

---

[1]) Cailletet (1866, **181**, 295) meint, auch in Dampfkesselfeuerungen kämen so bedeutende Dissociationswirkungen vor, daß selbst noch bei 500° in den Zügen Kohlenoxyd sich mit dem Sauerstoff vereinige, diese Rauchgase daher rasch abgekühlt eine andere Zusammensetzung hätten als langsam abgekühlt. Ich habe dagegen die Gase meist durch ein kurzes Glasrohr mit daran sitzendem Gummischlauch angesaugt, welcher doch sicher zerstört würde, wenn innerhalb desselben noch Kohlenoxyd verbrannt wäre (vergl. Theorie der Verbrennung). — [2]) Dingl. 1866, **179**, 4.

nungswärme des Gasgemisches $W = \frac{w\,g + w_1\,g_1 + \cdots + w_n\,g_n}{g + g_1 + \cdots + g_n} = \frac{\Sigma w g}{\Sigma g}$. Bei einer Dampfkesselanlage, welche Piesberger Anthracit verfeuert, gab z. B. die Untersuchung der Rauchgase im Durchschnitt:

Kohlensäure (CO_2)	11,8 Proc.
Kohlenoxyd (CO)	15,0 „
Stickstoff	73,2 „

Um dieses Volumverhältniß in Gewichtsverhältnisse umzurechnen, bedient man sich folgender Tabelle, die nach Regnault und Lasch[1]) die Gewichte von 1 bis 9 cbm der Gase bei 0° und 750 mm für Berlin enthält:

(cbm und g)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Atmosphärische Luft . .	1293,6	2587	3881	5175	6468	7762	9055	10349	11643
Sauerstoff	1430,3	2861	4291	5721	7151	8582	10012	11442	12872
Stickstoff	1256,6	2513	3770	5026	6283	7540	8796	10053	11309
Wasserdampf	804,8	1610	2414	3219	4024	4829	5633	6438	7243
Kohlensäure	1978,1	3956	5934	7912	9891	11869	13847	15825	17803
Kohlenoxyd	1259,3	2519	3778	5037	6296	7556	8815	10074	11334

Danach wiegen also 10 cbm Kohlensäure 19 781 g, 1 cbm 1987,1 und 0,8 = 1582,5 g oder 11,8 cbm = 23 342 g oder 23,34 kg, 15 cbm Kohlenoxyd 18,89 kg und 73,2 cbm Stickstoff 91,98 kg, 100 cbm des Gasgemisches demnach 134,21 kg. Ferner geben 12 kg Kohlenstoff 28 kg oder 22,3 cbm Kohlenoxyd und 44 kg oder 22,3 cbm Kohlensäure (nach Staß 27,96 kg und 43,92 kg); statt der 18,89 kg Kohlenoxyd würden demnach 29,67 kg Kohlensäure gebildet sein, wenn die Verbrennung eine vollständige gewesen wäre. Nun enthielt die verwendete Kohle 80 Proc. Kohlenstoff, 1 kg gab demnach bei vollständiger Verbrennung 2,93 kg oder 1,487 cbm Kohlensäure, im vorliegenden Falle aber $\frac{2{,}93 \times 23{,}34}{23{,}34 + 29{,}67} = 1{,}29$ kg Kohlensäure, $\frac{2{,}93 \times 18{,}89}{53{,}01} = 1{,}043$ kg Kohlenoxyd und $\frac{2{,}93 \times 91{,}98}{53{,}01} = 5{,}09$ kg Stickstoff.

---

[1]) Poggend. Erg. 3, 321; für CO berechnet aus $\frac{1{,}9781 \times 27{,}96}{43{,}92}$. Jolly hat neuerdings gefunden, daß für die geographische Breite von München von 48° 8′ und der Höhe von 515 m über der Meeresfläche 1 Liter Sauerstoff 1429,094 mg und 1 Liter Stickstoff 1257,614 mg wiegen. Daraus berechnen sich für Paris 1429,388 mg und 1257,873 mg, oder für Stickstoff 1,706 mg mehr, als Regnault fand. Jolly vermuthet, daß dieses Mindergewicht einem Gehalte an Wasserstoff bei dem von Regnault untersuchten Stickstoff zuzuschreiben sei. (Annal. Phys. Chem. 6, 538.)

Dasselbe Resultat erhalten wir durch folgende Erwägung. Da 1 Vol. Kohlenoxyd bei der Verbrennung auch 1 Vol. Kohlensäure giebt, so gab 1 kg Kohle $= \frac{1{,}487 \times 11{,}8}{11{,}8 + 15{,}0} = 0{,}655$ cbm oder 1,29 kg Kohlensäure, $\frac{1{,}487 \times 15}{26{,}8}$ $= 0{,}832$ cbm oder 1,043 kg Kohlenoxyd und $\frac{1{,}487 \times 73{,}2}{26{,}8} = 4{,}06$ cbm oder 5,1 kg Stickstoff. Somit folgt:

	Volumverhältniß	Gewichtsverhältniß	1 kg Kohle gibt cbm	kg
Kohlensäure	11,8	23,34	0,655	1,29
Kohlenoxyd	15,0	18,89	0,832	1,04
Stickstoff	73,2	91,98	4,060	5,10
			5,547	7,43

Da nun 1 kg Kohlenoxyd beim Verbrennen zu Kohlensäure 2403 W.-E. entwickelt, so hatten hier 100 cbm der entweichenden Gase einen Brennwerth von 45 303 W.-E. und der Verlust durch Kohlenoxydbildung betrug für 1 kg Kohle 2505 W.-E. oder 35 Proc. des Gesammtbrennwerthes von etwa 6700 W.-E. Uebrigens muß hervorgehoben werden, daß diese Kesselanlage bis jetzt die einzige ist, bei welcher ich eine irgendwie erhebliche Kohlenoxydbildung habe nachweisen können; alle übrigen arbeiteten mit einem großen Luftüberschuß.

Zu berücksichtigen ist ferner, daß kleine Kohlenstückchen durch den Rost fallen können und die entfernten Schlacken oft noch nicht ausgebrannte Kohlen enthalten. Der dadurch entstehende Verlust beträgt nicht selten 5 bis 8 Proc.

2. Die Wärmemenge, welche dadurch für die Dampfbildung verloren geht, daß die festen Verbrennungsrückstände mit einer höheren Temperatur, als die atmosphärische Luft hat, vom Roste entfernt wird, braucht nur bei wissenschaftlich genauen Versuchen ermittelt zu werden. Selbst wenn die Schlacken 800° haben sollten — was gewöhnlich nicht der Fall ist, da sie unmittelbar auf dem Rost liegen —, so ergiebt sich bei 10 Proc. Aschengehalt und 0,25 specif. Wärme für 1 kg Kohle nur 20 W.-E. Gelangen die Rückstände aber in den Aschenfall, so wird dieser Verlust unmerklich, da die Wärme derselben größtentheils auf die in das Feuer eintretende atmosphärische Luft übertragen wird.

3. Die Wärmemenge, welche durch die höhere Temperatur der entweichenden Rauchgase verloren geht, ist oft sehr bedeutend und durchweg viel größer, als für gewöhnlich angenommen wird, oder für die Erhaltung des Zuges in den Schornsteinen erforderlich wäre. Zur Feststellung der Größe dieses Verlustes muß man die Menge der Rauchgase, ihre Zusammensetzung und ihre Temperatur genau bestimmen.

Um die Menge der abziehenden Rauchgase zu bestimmen, hat man wohl mittels Anemometer die in die Feuerung tretende atmosphärische Luft gemessen. Abgesehen von der schwierigen Ausführung dieses Verfahrens sind die erhaltenen Resultate nicht zuverlässig, da einerseits eine genaue Messung der Luft unter diesen

Verhältnissen bis jetzt nicht ausführbar ist (wegen Reibungswiderständen, Temperaturdifferenzen und dergleichen), andererseits schwerlich jemals ein Kesselmauerwerk völlig luftdicht ist, die durch dasselbe eindringende Luft aber nicht direct gemessen werden kann.

Linde[1]) will in ähnlicher Weise wie Marozeau (S. 130) aus der von einem großen Dampfkessel auf das Speisewasser übertragenen Wärmemenge W_1 und der im Vorwärmer abgegebenen Wärme W_2, sowie aus der Temperatur der Rauchgase t_2 zwischen Kessel und Vorwärmer und t_3 hinter dem Vorwärmer sowohl die Gesammtmenge L der Rauchgase, als auch die Temperatur im Feuerraum t_1 berechnen mittels der Gleichungen $\frac{W_1}{W_2} = \frac{t_1 - t_2}{t_2 - t_3}$ und $W_2 = L c\,(t_2 - t_3)$, wobei c die specifische Wärme ausdrückt, folglich $L = \frac{W_2}{c\,(t_2 - t_3)}$.

Zur näheren Erläuterung dieser Methode mit zwei Calorimetern mögen folgende zwei Versuche angeführt werden. Beim ersten wurde das erste Calorimeter durch 8 Dampfkessel mit zusammen 400 qm Heizfläche, das zweite Calorimeter durch einen Vorwärmer von 270 qm Heizfläche dargestellt; beim zweiten wurde ein Kessel ausgeschaltet. Verbrannt wurden Penzberger Kohlen mit nur 40 Proc. Kohlenstoff:

		8 Kessel	7 Kessel
Speisewasserverbrauch	kg	47 265	28 326
Wassergehalt des Dampfes	Proc.	7,95	12,25
Mittlerer Dampfüberdruck	Atm.	5,18	6,5
Speisetemperatur beim Eintritt in den Vorwärmer		30,75°	33,97°
Desgleichen beim Austritt		88°	105,6°
$w_2 : w_1$		0,102	0,13
t_2		207°	197°
t_3		126°	127,3°
t_1 (berechnet)		936°	773°
1 kg Kohle verdampfte Wasser	kg	3,97	4,08
Menge der Verbrennungsgase für 1 kg Kohle	kg	12,4	18,7

Nach einer späteren Angabe sollen für 1 kg Kohle 12,4 und 18,2 kg atmosphärische Luft zugeführt sein. Linde erklärt das günstigere Resultat des zweiten Versuches aus der vollständigeren Verbrennung, welche den Verlust durch die bedeutend größere Menge Verbrennungsgase mehr als ausgeglichen habe — eine Annahme, welche nicht wahrscheinlich ist, da schon beim ersten Versuche ein großer Luftüberschuß vorhanden war.

Diese Berechnung von Linde setzt aber voraus, daß die Wärmeübertragung von den Feuergasen auf das Wasser im Kessel und Vorwärmer genau der Temperatur proportional sei, was indeß wegen des Einflusses von Flugstaub, Ruß, Rostbildungen, Kesselsteinablagerungen, ja selbst der ungleichen Beschaffenheit der Bleche wohl kaum jemals der Fall sein wird. Es ist ferner nicht berücksichtigt, daß die beiden Calorimeter auch erhebliche Mengen von Wärme durch Leitung und Strahlung verlieren, und schließlich, daß die specifische Wärme der Rauchgase

[1]) Dingl. 1876, 220, *115; 1879, 232, 240.

für die verschiedenen Temperaturen nicht constant ist. Das Verfahren wird deshalb gewöhnlich nicht einmal annähernd richtige Resultate ergeben. Es bleibt daher nichts anderes übrig, als die Gesammtmenge der Rauchgase aus der Analyse derselben und der Brennstoffe zu berechnen.

Bei den bisherigen Heizversuchen hat man nun zwar meist die größte Sorgfalt auf die Angabe der Temperatur des Speisewassers und der atmosphärischen Luft, des Barometerstandes, ja selbst der Beschaffenheit von Wind und Wetter verwendet, auch umständliche Rechnungen ausgeführt, dabei aber durchweg unrichtige Werthe für die specifische Wärme der Verbrennungsgase eingesetzt. Da die von Regnault [1]) gefundenen Werthe für die specifische Wärme der hier in Betracht kommenden Gase und Dämpfe noch maßgebend sind, diese Zahlen aber in den bekannten Lehr- und Handbüchern von Bunsen [2]) (dieselben Werthe hat Péclet [3]), Emsmann [4]), Ferini [5]), Jamin [6]), Wüllner [7]) und Naumann [8]) unbegreiflicher Weise verschieden angegeben werden, da ferner die mit der Temperatur steigende specifische Wärme nur von Wüllner berücksichtigt wird, der aber in seinen Schlußformeln nicht richtige Vorzeichen gebraucht, so müssen zunächst diese Angaben richtig gestellt werden.

Nachfolgende kleine Tabelle enthält die von Regnault gefundenen Werthe für die angegebenen Temperaturgrenzen. Des leichteren Vergleiches wegen ist jedesmal die betreffende Seite der Originalarbeit in den Mémoires angegeben.

	Temperatur	Specif. Wärme	Seite
Atmosphärische Luft	0 bis 200°	0,23751	95 u. 156
Sauerstoff	10 „ 200	0,21751	113
Stickstoff	0 „ 200	0,2438	117
Wasserstoff	10 „ 200	3,4090	117
Kohlensäure (CO_2)	−30 „ +10	0,18427	127
Desgleichen	+10 „ 100	0,20246	127
Desgleichen	10 „ 210	0,21692	128
Kohlenoxyd (CO)	10 „ 200	0,2450	131
Methylwasserstoff (CH_4)	desgl.	0,59295	139
Aethylen (C_2H_4)	desgl.	0,4040	140
Schwefligsäure (SO_2)	desgl.	0,15531	145
Wasserdampf (H_2O)	desgl.	0,48051	167

Für die specifische Wärme der Kohlensäure wurden nur die drei letzten Versuchsreihen zu Grunde gelegt, da Regnault selbst nur diese bei seinen Rechnungen berücksichtigt, für Schwefligsäure nur die letzte Versuchsreihe, welche mehrere Jahre später als die erste und somit auf Grund reicher Erfahrungen ausgeführt wurde. Die specifische Wärme des Wasserstoffes ergab sich für die

---

[1]) Mém. l'Acad. 26, 1 — 928. — [2]) R. Bunsen: Gasometrische Methoden, 1877, S. 310. — [3]) Péclet: Traité de la chaleur, 1878, T. 1, p. 608. — [4]) Emsmann: Physikalisches Wörterbuch, 1868, S. 628. — [5]) Ferini: Technologie der Wärme, 1878, S. 31. — [6]) Jamin: Cours de Physique, 1878, T. 2, p. 69. — [7]) Wüllner: Die Lehre von der Wärme, 1871, S. 140. — [8]) Naumann: Gmelin-Kraut's Handbuch der Chemie, Bd. 1, Abtheilung 1, S. 276.

Temperaturen zwischen -30^0 und $+10^0$ zu 3,3996, also fast genau derselbe Werth als für 0 bis 200^0. Dasselbe gilt für die atmosphärische Luft, deren specifische Wärme von -30^0 bis $+10^0$ zu 0,23771, von 0 bis 100^0 zu 0,23741 und von 0 bis 200^0 zu 0,23751 bestimmt ist. Von den zur Feststellung des letzten Werthes ausgeführten 28 Bestimmungen ergab die niedrigste 0,23601, die höchste 0,23891, so daß die Durchschnittszahl 0,2375 als besonders zuverlässig zu bezeichnen ist. Die specifische Wärme von Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff ändert sich hiernach nicht mit der Temperatur, wohl aber die der Kohlensäure, welche bekanntlich vom Boyle-Mariotte'schen Gesetz abweicht.

Bezeichnen wir nun mit λ die Anzahl Wärmeeinheiten, welche erforderlich sind, 1 kg Kohlensäure von -30 auf t^0 zu erwärmen, so ergiebt sich: $\lambda = A\Theta + B\Theta^2 + C\Theta^3$, wenn $\Theta = t + 30^0$ ist. Die drei constanten Coëfficienten A, B und C werden mittels der drei aus den Versuchsreihen abgeleiteten Gleichungen:

$$\begin{aligned} 0{,}18427 \times 40 &= 7{,}3708 = A \times 40 + B\,(49)^2 + C\,(40)^3 \\ 7{,}3708 + 0{,}20246 \times 90 &= 25{,}5922 = A \times 130 + B\,(130)^2 + C\,(130)^3 \\ 7{,}3708 + 0{,}21692 \times 200 &= 50{,}7548 = A \times 240 + B\,(240)^2 + C\,(240)^3 \end{aligned}$$

zu $A = 0{,}1784897$, $B = 0{,}00014592$ und $C = -0{,}0000000353$ gefunden [1]).

Für den praktischen Gebrauch empfiehlt es sich, die mittlere specifische Wärme zwischen $+10^0$ (der mittleren Jahrestemperatur) und der Endtemperatur zu Grunde zu legen. Nun ist aber zur Erwärmung der Kohlensäure von -30 bis t^0 die Wärmemenge erforderlich:

$$\lambda = A\,(t + 30) + B\,(t + 30)^2 + C\,(t + 30)^3,$$

bis $t_1{}^0$ dagegen:

$$\lambda_1 = A\,(t_1 + 30) + B\,(t_1 + 30)^2 + C\,(t_1 + 30)^3.$$

Folglich ist die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um die Erwärmung $t^0 - t_1{}^0$ hervorzubringen, $= \lambda - \lambda_1$ und die mittlere specifische Wärme zwischen t^0 und $t_1{}^0$ $= \frac{\lambda - \lambda_1}{t - t_1}$. Daraus ergeben sich folgende Werthe:

Von t^0	bis $t_1{}^0$	Mittlere specif. Wärme
0	50	0,19420
10	100	0,20246
10	150	0,20914
10	200	0,21564
10	250	0,22197
10	300	0,22812
10	350	0,23409.

[1]) Regnault (Mémoires S. 129) gibt an:
$\log A = 0{,}2513462 - 1$, $\log B = 0{,}1640823 - 4$, $\log C = 0{,}5545931 - 8$.
Woher diese allerdings sehr geringe Differenz kommt, vermag ich nicht zu erklären.

Aus der Gleichung $\lambda = A\Theta + B\Theta^2 + C\Theta^3$ ergiebt sich ferner die wirkliche specifische Wärme der Kohlensäure zu $\frac{d\lambda}{d\Theta} = A + 2B\Theta + 3C\Theta^2$; folglich:

t	Specif. Wärme	t	Specif. Wärme
0°	0,18715	400°	0,28441
100	0,21464	500	0,30344
200	0,24001	600	0,32035
300	0,26327	700	0,33514

Die specifische Wärme der Kohlensäure wächst daher ganz erheblich mit der Temperatur (wenn auch die für die höheren Wärmegrade berechneten Zahlen nicht ganz sicher sind, da nur bis 210° Versuche gemacht wurden), und alle Beurtheilungen von Feuerungsanlagen, welche hierauf keine Rücksicht genommen haben, sind ungenau. Voraussichtlich wird auch die specifische Wärme der Schwefligsäure und des Wasserdampfes in ähnlicher Weise wachsen, doch liegen hierüber noch keine Versuche vor; für Stickoxydul konnte Regnault diese Zunahme nachweisen. Vom Druck ist die specifische Wärme der Gase unabhängig, wie dies Regnault für Wasserstoff, Kohlensäure, Sauerstoff und Stickstoff nachgewiesen hat. Zur leichteren Berechnung folgt hier eine Tabelle für die specifische Wärme von gleicher Einrichtung wie die für die Gewichte der hier in Betracht kommenden Gase (S. 139).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kohlensäure(CO_2)10 bis 100°	0,20246	0,4049	0,6074	0,8098	1,0123	1,2148	1,4172	1,6197	1,8221
„ 10 „ 150	0,20914	0,4183	0,6274	0,8366	1,0457	1,2548	1,4640	1,6731	1,8823
„ 10 „ 200	0,21564	0,4213	0,6469	0,8626	1,0782	1,2938	1,5095	1,7251	1,9408
„ 10 „ 250	0,22197	0,4439	0,6659	0,8879	1,1099	1,3327	1,5538	1,7758	1,9977
„ 10 „ 300	0,22812	0,4562	0,6844	0,9125	1,1406	1,3687	1,5968	1,8250	2,0531
„ 10 „ 350	0,23409	0,4682	0,7023	0,9364	1,1705	1,4045	1,6386	1,8727	2,1068
Kohlenoxyd (CO)	0,2450	0,4900	0,7350	0,9800	1,2250	1,4700	1,7150	1,9600	2,2050
Stickstoff	0,2438	0,4876	0,7314	0,9952	1,2190	1,4628	1,7066	1,9504	2,1942
Sauerstoff	0,21751	0,4350	0 6525	0,8700	1,0876	1,3051	1,5226	1,7401	1,9576
Wasserdampf	0,48051	0,9610	1,4415	1,9220	2,4026	2,8831	3,3636	3,8441	4,3245
Schwefligsäure (SO_2) . . .	0,15531	0,3106	0,4659	0,6212	0,7766	0,9319	2,0872	1,2425	1,3978

MIM KAPH MIM LIBRARY
CHEM. BLDG. U. C

E. Wiedemann[1]) hat (1876) einige dieser Bestimmungen mit folgenden Resultaten wiederholt:

	Specif. Wärme gleicher Gewichte			Specif. Wärme gleicher Volume		
	bei 0°	100°	200°	bei 0°	100°	200°
Atmosphärische Luft	0,2389	—	—	0,2389	—	—
Wasserstoff	3,410	—	—	0,2359	—	—
Kohlenoxyd	0,2426	—	—	0,2346	—	—
Kohlensäure	0,1952	0,2169	0,2387	0,2985	0,3316	0,3650
Aethylen	0,3364	0,4189	0,5015	0,3254	0,4052	0,4851
Stickoxydul	0,1983	0,2212	0,2442	0,3014	0,3362	0,3712
Ammoniak	0,5009	0,5317	0,5629	0,2952	0,3134	0,3318

Diese Versuche bestätigen die rasche Zunahme der specif. Wärmen bei allen Gasen, welche vom Mariotte'schen Gesetze abweichen. Wegen des angewendeten weniger vollkommenen Apparates ziehe ich aber vor, vorläufig die Regnault'schen Zahlen beizubehalten.

Welchen Einfluß Zusammensetzung und Temperatur der abziehenden Rauchgase auf das Ergebniß eines Heizversuches haben können, mögen folgende Beispiele zeigen. Die Analyse der Rauchgase eines mit Anthracit geheizten Kessels gab folgendes Resultat:

Zeit		Kohlensäure	Kohlenoxyd	Sauerstoff	Stickstoff	Temperatur	Bemerkungen
Uhr	Min.						
5	20	1,7	Spur	19,0	79,3	—	
	30	1,8	0	19,1	79,1	159	Rost von unten gesehen dunkel.
7	45	1,9	0	18,9	79,2	—	Zug 10 mm Wasser.
8	—	1,8	0	19,1	79,1	155	
	30	4,7	0	16,1	79,2	160	Nach dem Verputzen des Mauerwerkes.
	40	4,8	0	16,0	79,2	—	
	50	4,6	0	16,1	79,3	167	

[1]) Poggend. 157, *1.

Bei 4° Lufttemperatur ergaben danach die vier ersten Versuche folgende Verlustberechnung (vergl. S. 140):

	1 kg Kohle giebt		153 × specif. Wärme	Wärmeverlust W.-E.
	cbm	kg		
Kohlensäure 1,8	1,49	2,93	32,99	97
Sauerstoff 19,0	15,73	22,50	33,28	749
Stickstoff 79,2	65,56	82,44	37,30	3075
	82,78	107,87		3921

Durch Multiplication der Gewichte der einzelnen Bestandtheile mit 153 × specif. Wärme erhalten wir somit einen Wärmeverlust von 3921 W.-E. oder bei 6700 W.-E. Brennwerth 58,5 Proc. Die drei letzten Versuche geben dagegen folgende Werthe:

	1 kg Kohle giebt		160 × specif. Wärme	Wärmeverlust W.-E.
	cbm	kg		
Kohlensäure 4,7	1,49	2,93	34,50	101
Sauerstoff 16,1	5,11	7,31	34,80	254
Stickstoff 79,2	25,12	31,57	39,01	1231
	31,72	41,81		1586

Das in aller Eile ausgeführte Bewerfen der besonders undichten Stellen des Mauerwerkes namentlich über der Thür mit Lehm hatte demnach eine Verminderung des Wärmeverlustes von 3921 auf 1586 W.-E. oder von 58,5 auf 23,7 Proc. zur Folge. Andere Kessel geben 15 bis 40 Proc. Verlust. Ein Kessel, der kurz vorher sorgfältig nachgesehen war, gab bei der Untersuchung folgendes Ergebniß:

Zeit		Kohlensäure	Kohlenoxyd	Sauerstoff	Stickstoff	Temperatur	Bemerkungen
Uhr	Min.						
10	15	18,5	0	2,0	79,5	305°	6 mm Zug.
	35	19,2	Spur	0,9	79,9	—	Zug auf 1 mm ermäßigt
	45	19,0	0	1,2	79,8	206	
11	—	18,5	0	1,9	79,6		
	20	17,9	0	2,6	79,5	201	

Berücksichtigen wir nur die vier letzten Proben, so ergiebt sich bei 10° Lufttemperatur nachfolgender Wärmeverlust:

	1 kg Kohle giebt		194 × specif. Wärme	Wärmeverlust W.-E.
	cbm	kg		
Kohlensäure 18,7	1,49	2,93	41,83	123
Sauerstoff 1,7	0,14	0,20	42,20	8
Stickstoff 79,6	6,35	7,97	47,32	377
	7,98	11,10		508

Diese Kesselfeuerung gab somit nur einen Wärmeverlust von 508 W.-E. oder etwa 7 Proc. durch die Rauchgase; ein günstigeres Verhältniß ist wohl kaum denkbar. Vergleichen wir dieses Ergebniß mit den besprochenen, berücksichtigen, daß sämmtliche Kessel genau den gleichen Rost haben und mit demselben Brennstoff beschickt wurden, auch sonst möglichst gleichmäßig behandelt wurden und doch so ungemein verschiedene Wärmeverluste durch die Rauchgase ergaben, ja daß nicht selten derselbe Kessel einmal bedeutenden Luftüberschuß und dann wieder starke Kohlenoxydbildung zeigte, so wird dadurch nur bestätigt, welch geringen Werth Heizversuche ohne Rauchgasuntersuchungen haben. Es ergiebt sich hieraus ferner, welchen Werth die verschiedenen neuen Rostconstructionen besitzen und welches Vertrauen die von den Erfindern derselben versprochenen 20 bis 30 Proc. Brennstoffersparniß verdienen. Ein passender Rost kann die richtige Leitung des Brennprocesses zwar erleichtern, z. B. Treppenrost für staubförmige Braunkohle, eine möglichst hohe Ausnutzung der Brennstoffe ist aber nur durch verständige Behandlung der Feuerung zu erzielen, und diese kann wieder nur gewährleistet werden durch zeitweise Untersuchung der Rauchgase.

Handelt es sich um genaue Feststellung sämmtlicher Verluste, so ist natürlich auch der Gehalt der Feuergase an Wasser und Schwefligsäure zu bestimmen unter Berücksichtigung des Wassergehaltes der atmosphärischen Luft.

Die bei einem Heizversuche verwendete Steinkohle hatte z. B. folgende Zusammensetzung:

Kohlenstoff	78,0
Wasserstoff	3,5
Sauerstoff	8,0
Schwefel	1,6
Stickstoff	1,1
Wasser	3,5
Asche	4,0

Bei der vollständigen Verbrennung giebt demnach 1 kg Kohle:

	kg	Dazu erforderliche Menge Sauerstoff kg
Kohlensäure 1,45 cbm oder	2,86	2,08
Wasser, durch Verbrennung	0,315	0,28
Desgl., hygroskopisches	0,035	0
Schwefligsäure	0,032	0,016
Stickstoff	0,011	0
	3,253	2,376

erfordert dazu (2,38 — 0,08 =) 2,3 kg Sauerstoff, entsprechend fast 10 kg oder 7,7 cbm atmosphärische Luft, und giebt dabei rund 7200 W.-E. (vergl. Theorie der Verbrennung). Bei 4° Lufttemperatur und 8° Thaupunkt der unter den Rost tretenden Luft gab die Untersuchung der Rauchgase im Durchschnitt von 21 Analysen:

Kohlensäure	4,9 Proc.
Kohlenoxyd	0 „
Sauerstoff	15,5 „
Stickstoff	79,6 „
Temperatur	304°

Daraus berechnet sich in der vorhin besprochenen Weise folgender Wärmeverlust:

	1 kg Kohle giebt		300 × specif. Wärme	Wärmeverlust
	cbm	kg		W.-E.
Kohlensäure 4,9	1,45	2,86	70,23	201
Sauerstoff 15,5	4,59	6,56	65,25	428
Stickstoff 79,6	23,56	29,61	73,14	2166
Schwefligsäure	—	0,03	46,59	2
Wasser	—	0,35	144,15	87
Wassergehalt der Luft	—	0,25		
		39,60		2884

4. Der Wärmeverlust einer Dampfkesselfeuerung durch Strahlung und Leitung soll nach Scheurer-Kestner im Durchschnitt 25,5 Proc., nach anderen Angaben sogar bis 40 Proc. des Gesammtbrennwerthes betragen. Da dieser Verlust noch nicht direct bestimmt wurde, sondern nur als Differenz der übrigen mangelhaft festgestellten Werthe, so sind diese Angaben sehr unzuverlässig.

Da nun die Verhältnisse ganz anders würden, wenn man den Versuchskessel etwa als Calorimeter behandeln und ganz mit Wasser umschließen wollte, so ist eine directe Bestimmung dieses Wärmeverlustes kaum möglich. Der Zweck ließe sich aber wohl dadurch indirect erreichen, daß man unter dem Versuchskessel einen Brennstoff von gleichartiger Zusammensetzung, z. B. Leuchtgas, Erdöl, dessen Brennwerth demnach genau festgestellt werden könnte, verfeuerte und nun die übrigen Wärmeverluste genau bestimmte. Wenn man dabei die Menge der abziehenden Verbrennungsgase, sowie die Temperatur im Feuerherde genau bestimmte, so könnte man unter Berücksichtigung der mit der Temperatur veränderlichen specifischen Wärme mit Hülfe der erwähnten Linde'schen Formeln auch wohl Aufschluß über die Wärmeübertragung von den glühenden Feuergasen durch das Kesselblech zum Kesselwasser bekommen. Bis jetzt weiß man darüber noch sehr wenig (vergl. Dampfkesselfeuerungen). —

Die Brennwerthbestimmungen durch Verdampfungsversuche mit Dampfkesseln sind somit noch nicht geeignet, genaue Angaben über die bei der Verbrennung frei werdende Wärme zu erhalten. Hierzu sind kleinere Apparate nothwendig, um die verschiedenen Fehlerquellen übersehen und unschädlich machen zu können.

Die ersten Versuche, die bei der Verbrennung entwickelte Wärme mittels Calorimeter zu bestimmen, scheinen von Lavoisier und Laplace[1]) ausgeführt zu sein. In einem von Eis umgebenen irdenen Gefäße verbrannten sie 30 bis 500 g glühende Holzkohlen oder aber Wasserstoff im Sauerstoff. Sie fanden so, daß 1 Thl. Kohle im Durchschnitt 96,5 und 1 Thl. Wasserstoff 295,6 Thle. Eis schmolzen. Auch Hassenfratz, sowie Clement und Desormes[2]) verwendeten Eiscalorimeter.

Crawford[3]) verbrannte Holzkohle in einem Wassercalorimeter und fand, daß 1 Thl. Kohle 5776 Thle. Wasser von mittlerer Temperatur um 1° erwärmte und 1 Thl. Wasserstoff 37 051 Thle. Wasser. Dalton[4]) verbrannte das zu untersuchende Gas unter einem entsprechenden Wassergefäß, während Rumford[5]) 1813 die ersten vergleichenden Versuche mit Holzkohle und verschiedenen Holzarten ausführte. 1 Thl. Kohle erwärmte danach 52 bis 54 Thle. Wasser vom Schmelzpunkt bis zum Siedepunkt, 1 Thl. Holz 25 bis 40 Theile. Welter[6]) schloß (1821) aus diesen Versuchen, daß bei der Verbrennung gleiche Mengen Sauerstoff dieselben oder in einem einfachen Verhältnisse zu einander stehende Wärmemengen erzeugen — ein Schluß, der jedoch schon durch die Versuche von Despretz[7]) widerlegt wurde.

Grassi[8]) verbrannte in einem Wassercalorimeter Zuckerkohle mit Sauerstoff und fand dafür 7682 bis 7801 Wärmeeinheiten. Die ersten genaueren und umfassenden Versuche wurden jedoch von Dulong[9]) ausgeführt. Die zu untersuchenden Stoffe wurden in dem kleineren Gefäße *A* (Fig. 139) verbrannt, welches von einem größeren, mit Wasser gefüllten Gefäße umgeben war, dessen Temperatur durch das Thermometer *t* angegeben wurde. Der zur Verbrennung nöthige Sauerstoff wurde durch das Rohr *B* zugeführt, während die Verbrennungsproducte durch das schlangenförmig gebogene Rohr *DEG* entwichen. Die Gase wurden, wie die Abbildung zeigt, aus einer Spitze verbrannt, Flüssigkeiten mittels eines eingetauchten Baumwollfadens, feste Körper meist in Pulverform. Er fand so z. B. für Wasserstoff 34 601, für Kohlenoxyd 2490 W.-E. Obgleich Dulong in derselben Weise wie dies bereits Rumford gethan hatte, um den Einfluß der

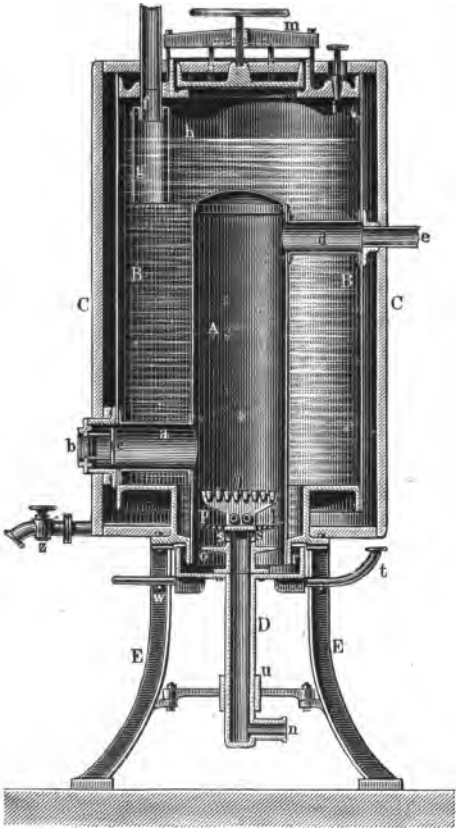
Fig. 139.

[1]) Histoire de l'Académie de France, 1781, 379. — [2]) Gehler: Physikalisches Wörterbuch, 1841, Bd. 10, S. 325. — [3]) Experiments and observations on animal heat, London 1788. — [4]) Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft, Berlin 1812, S. 87. — [5]) Gilbert's Ann. 45, 1; 46, 225. — [6]) Ann. chim. phys. 19, 425. — [7]) Ann. chim. phys. 37, 180; Poggend. Ann. 12, 519. — [8]) Journ. de phys. chim. III, Bd. 8. — [9]) Poggend. 45, 461.

Strahlung zu vermindern, das Calorimeter beim Beginne eines Versuches etwa eben so weit unter die Temperatur der Umgebung erkalten ließ, als es nach Beendigung desselben wärmer war als diese, so fielen doch einige Zahlen, z. B. für Kohlenstoff von 7295 W.-E., offenbar zu niedrig aus.

A. Ure[1]) verbrannte die zu untersuchende Kohle mit atmosphärischer Luft in einem kleinen Verbrennungsraum und ließ die heißen Gase in Röhren aufsteigen, welche in einer mit 300 bis 400 kg Wasser gefüllten Wanne befestigt waren. Sehr ähnlich war der aus Weißblech gefertigte Apparat, welchen Bargum[2]) verwendete, um den Brennwerth des Torfes festzustellen; nur stand hier der Verbrennungsraum im Wasser selbst. Deville[3]) verwendete einen kleinen Röhrenkessel. Weit vollkommener ist der Apparat von Bolley. Auf dem gußeisernen Fuße *E* (Fig. 140) ist der stehende Kessel *B* befestigt, welcher mit einer Holzbekleidung *C* versehen ist und den Verbrennungsraum *A* umschließt. Die zu untersuchenden Brennstoffe werden durch den Ansatz *a* auf den Rost *q* gebracht; die gut schließende Doppelthür *b c* ist mit einem Schauloch versehen, welches durch ein Glimmerblatt geschlossen ist. Das in der Decke des Kessels befindliche Mannloch *m* ist mit entsprechendem Bügelverschluß versehen. Das zu verdampfende Wasser wird durch die Oeffnung *i* eingeführt und kann aus dem Hahn *z* wieder abgelassen werden. Um zu verhüten, daß der durch das Rohr *f* entweichende Dampf Wasser mitreißt, hängt an demselben das weitere Rohr *g* so, daß derselbe durch den ringförmigen Zwischenraum zwischen *g* und *f* gehen muß.

Fig. 140.



[1]) Dingl. 1840, 75, *48. — [2]) Mitth. d. Gewerbv. f. Hannov. 1856, *150. — [3]) Dingl. 1869, 192, 209; 193, 124. Die während des Druckes veröffentlichten Versuche der Münchener Versuchsstation sollen am Schluß dieses Abschnittes besprochen werden.

Der Verbrennungsraum *A* ragt unten in eine Schale *r*, welche durch das Rohr *t* mit Waſſer gefüllt wird, um ſo einen luftdichten Abſchluß zu erreichen. Sie kann mit dem daran befeſtigten Rohre *D* in der Führung *u* auf- und abgeſchoben werden und wird durch die Zapfen *w* getragen. Der Anſatz *n* wird durch einen Gummiſchlauch mit einem Gebläſe verbunden, die dadurch zugeführte Luft tritt aus den ſeitlichen Oeffnungen *s* zwiſchen die beiden Schalen *o* und *p* und durch die Löcher der letzteren unter den Roſt *q*. Der ganze Apparat iſt 1,5 m hoch. Die durch den Anſatz *d* entweichenden Verbrennungsgaſe treten in das flache Meſſingrohr *e*, welches in einem etwa 30 cm weiten, 50 cm hohen und 2 m langen Zinktrog mit Waſſer liegt. Unter Berückſichtigung der Temperatur der abziehenden Gaſe geſchieht die Ausführung des Verſuches und die Berechnung der erhaltenen Reſultate wie bei den entſprechenden Verſuchen mit einem Dampfkeſſel.

Der Waſſerverſchluß iſt nicht empfehlenswerth; ſonſt dürfte ſich dieſer Apparat zur Anſtellung größerer Verſuche ſehr wohl eignen, wenn die Zuſammenſetzung der entweichenden Gaſe berückſichtigt wird.

Andrews[1]) verbrannte die zu unterſuchenden Stoffe in einem mit Sauerſtoff gefüllten geſchloſſenen Kupfergefäß, welches in ein zweites Gefäß mit Waſſer völlig untergetaucht war. Auch Than[2]) verwendete ein geſchloſſenes Gefäß, als er mittels eines Bunſen'ſchen Eiscalorimeters die Verbrennungswärme des Waſſerſtoffes beſtimmte.

Die umfaſſendſten Brennwerthbeſtimmungen wurden jedoch (1852) von Favre und Silbermann[3]) ausgeführt. Fig. 141 (a. f. S.) zeigt den von ihnen verwendeten Apparat in $^1/_5$ natürlicher Größe, Fig. 142 den Durchſchnitt deſſelben in $^1/_3$ natürlicher Größe, wie ihn Scheurer-Keſtner[4]) bei ſeinen Brennwerthbeſtimmungen für Kohlen anwendete. Der erforderliche Sauerſtoff wird durch das Rohr *B* in die aus vergoldetem Kupferblech hergeſtellte Verbrennungskammer *A* direct auf die ſchwer verbrennlichen Stoffe geleitet, bei den leichter brennbaren Körpern, welche Favre und Silbermann unterſuchten, aber durch das Rohr *O*, während *B* dann verſchloſſen blieb, oder die zu unterſuchenden Gaſe zuführte. Die Verbrennungsproducte entweichen durch das im Deckel mündende Rohr *s*, durchziehen das ganze nach unten führende Schlangenrohr mit dem kleinen Behälter *k* für das Condenſationswaſſer und gehen ſchließlich durch das Rohr *e* nach den Abſorptionsapparaten. Das in der Mitte des Deckels mündende Rohr *m* iſt oben mit einer Glasplatte bedeckt, über welcher ein kleiner Spiegel ſteht, um von der Seite aus den Gang der Verbrennung beobachten zu können. Der ganze Verbrennungsapparat iſt mit drei in der Zeichnung fortgelaſſenen dünnen Stangen an dem Deckel des aus Kupferblech hergeſtellten Waſſergefäßes *a* befeſtigt. Der Deckel iſt verſilbert und hat entſprechende Oeffnungen für ein Thermometer, den Rührer *i* und in der Mitte eine große Oeffnung für die nach außen führenden

---

[1]) Pogg. 75, 27, 244. — [2]) Ber. d. chem. Geſ. 1877, 947. — [3]) Ann. chim. phys. 34, *357. — [4]) Bull. Mulh. 1868, *712.

Röhrenansätze der Verbrennungskammer. Das Kupfergefäß ist außen ebenfalls versilbert, um die Wärmeübertragung zu vermindern, und ruht auf vier Korkfüßen in einem zweiten Kupfercylinder *d*, dessen Wandungen mit einem Schwaneupelz

Fig. 141.

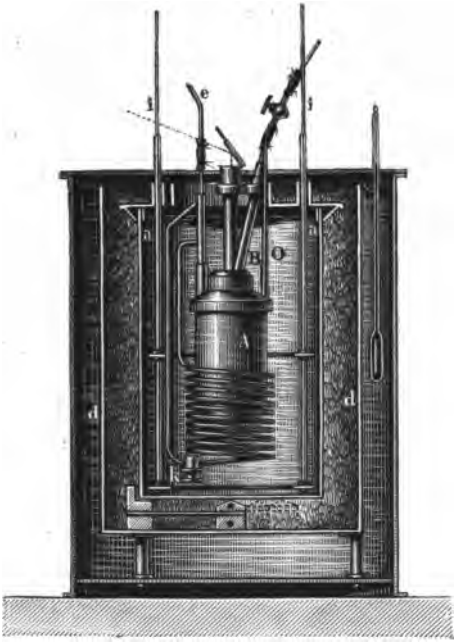
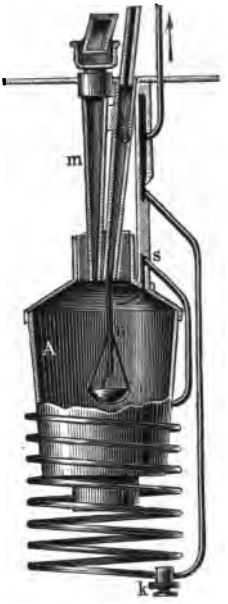
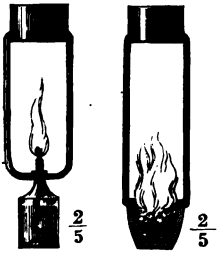


Fig. 142.



ausgekleidet sind. Dieser Cylinder steht dann wieder in einem dritten mit Wasser gefüllten kupfernen Gefäß, um dadurch die Ausstrahlung nach außen zu vermindern.

Fig. 143. Fig. 144. Fig. 145.



Für die Verbrennung der flüssigen Brennstoffe diente die kleine, etwa 2 ccm fassende kupferne Lampe[1], Fig. 143, für Schwefel die in Fig. 144 dargestellte; beide waren mit Platindrähten am Deckel der Verbrennungskammer befestigt. Kohlen wurden in dem kleinen Platincylinder, Fig. 145, mit durchlöchertem Boden verbrannt. Scheurer-Kestner brachte die Kohlen dagegen in die kleine Platinschale, welche mit drei Platindrähten an das Platinrohr *n* befestigt war, so daß der durch das Rohr *B* zugeführte Sauerstoff unmittelbar auf die Kohlen traf.

Der Wasserwerth des Calorimeters [1]) von Silbermann wurde in folgender Weise durch Rechnung erhalten:

2012 g Wasser		2012,000
684,603 g Kupfer (specif. W. 0,09515)		65,140
1,961 g Platin (specif. W. 0,03243)		0,064
Thermometer	7,750 g Glas (specif. W. 0,1980)	1,540
	20,033 g Queckfilber (specif. W. 0,0333)	0,666
		2079,410

Bei den Untersuchungen wurde der Gehalt der entweichenden Gase an Kohlensäure und Kohlenoxyd bestimmt. Die Art der Berechnung möge folgendes Beispiel der Bestimmung des Brennwerthes von Kohlenstoff zeigen.

Bei dem Versuch wurde erhalten:

Kohlensäure	7,895 g
Desgl. durch Verbrennung des entwichenen Kohlenoxydes	1,128 „
Zusammen	9,023 g

$\log 9{,}023 = 0{,}9553510$

$\log \frac{6}{22} = \bar{1}{,}4357285$

$0{,}3910795$, folglich 2,46082 g Kohlenstoff

$\log 1{,}128 = 0{,}0523091$

$\log \frac{14}{22} = \bar{1}{,}8037053$

$\log 2403 = 3{,}3806996$

$3{,}2367139$, 1724,7 W.-E. für CO.

Anfangstemperatur	11,8658°
Endtemperatur	20,5478°
Temperaturzunahme	8,6820°

dazu 0,05847 Correction macht 8,74047° als eigentliche Wärmezunahme.

$\log 8{,}74047 = 0{,}9415462$

$\log 2079{,}3605 = 3{,}3179307$

somit Wärmeeinheiten: $\log 4{,}2594769 = 18175{,}1$

dazu für das entweichende Kohlenoxyd 1724,7

Gesammtwärme 19899,8

Gesammtwärme	$\log$ 19899,8	$= 4{,}2988488$
Gewicht des verbrannten Kohlenstoffs	$\log$ 2,4608	$= -0{,}3910795$
		3,9077693

oder 8086,7 W.-E. für 1 g Kohlenstoff.

[1]) Scheurer-Kestner giebt an

1145,651 Kupfer	109,008 g
21,810 Platin	0,706 „
Thermometer: 12 g Glas, 63 g Queckfilber	4,470 „
	114,184 g

Bei diesen Berechnungen ist somit keine Rücksicht genommen auf die specifische Wärme des Wassers bei verschiedenen Temperaturen (S. 64) und auf die Wärme, welche mit den Verbrennungsgasen entweicht (S. 146). Daß diese Fehler gemacht wurden, erklärt sich sehr leicht daraus, daß die specifische Wärme des Wassers und der Gase zur Zeit der Ausführung dieser Versuche noch nicht genau bekannt waren.

Thomsen[1]) bestimmte den Brennwerth des Wasserstoffs, indem er in eine hohle, völlig eingetauchte Platinkugel von 500 ccm Inhalt durch ein Rohr Wasserstoff, durch ein zweites den Sauerstoff einleitete, während ein drittes bestimmt war, die bei seinen Versuchen mit Chlor gebildeten gasförmigen Verbrennungsproducte abzuleiten. A. Schuller und V. Wartha[2]) verbrannten in einem kleinen Behälter elektrolytisch entwickelten Wasserstoff mit ebenfalls elektrolytisch entwickelten Sauerstoff, unter Benutzung eines Eiscalorimeters; zu bemerken ist hierbei, daß sie als Wärmeeinheit die mittlere specifische Wärme des Wassers zwischen 0 und 100° nehmen, und nicht, wie dies sonst üblich, diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist, 1 g Wasser von 0 auf 1° zu erwärmen. Für feste und flüssige Brennstoffe sind beide Apparate nicht geeignet.

Völlig abweichend von diesen Verfahren, die zu untersuchenden Brennstoffe mit freiem Sauerstoff zu verbrennen, ist das neuerdings von F. Stohmann[3]) empfohlene mit gebundenem Sauerstoff, welches bereits von Frankland[4]) bei seinen Untersuchungen über die Verbrennungswärme der menschlichen Nahrungsmittel angewendet wurde. Stohmann hat dasselbe jetzt dahin verbessert, daß er als Wasserbehälter einen Cylinder *A* (Fig. 146 und 147) von polirtem Messingblech verwendet, der auswendig versilbert und bis zur Höhe des Wasserstandes mit sechsfachem Flanell und schließlich mit einer Hülse aus Weißblech umgeben ist. Um diese Isolirschicht vor Feuchtigkeit zu schützen, wurde ein breiter Gummistreifen umgelegt.

Der Wasserwerth des Calorimeters läßt sich nach Stohmann am einfachsten dadurch finden, daß man den Apparat in seinen einzelnen Theilen zusammenstellt, wie zu einem Verbrennungsversuch, selbstverständlich ohne die zu verbrennende Mischung, ihn eine bestimmte Temperatur annehmen läßt, am bequemsten die der umgebenden Luft, und dann die gleiche Menge von Wasser wie beim Verbrennungsversuch hineinbringt, aber dem Wasser eine andere, höhere oder geringere Temperatur giebt als dem Apparat. Hat sich die Temperatur zwischen Wasser und Apparat ausgeglichen, erkennbar daran, daß der Stand des Quecksilbers im Thermometer constant wird, so hat das Wasser so viel Wärme abgegeben oder aufgenommen, wie der Apparat seinerseits aufgenommen oder abgegeben hat, und es ergiebt sich daraus die Zahl der Wärmeeinheiten, welche dem Apparat zugeführt werden müssen, um seine Temperatur um ein bestimmtes Wärmeintervall zu verändern. Z. B.: In einem Versuch war die Temperatur des Apparates = 15,99°, in denselben wurden 2000 g Wasser von 23,28° gebracht. Das Thermometer wurde stabil bei 22,80°. Die Temperatur des Wassers war daher

[1]) Pogg. 148, *180, 368. — [2]) Ann. Phys. Chem. 2, *359. — [3]) Journ. prakt. Chem. 19, *115. — [4]) Jahrber. d. Chem. 1866, 732.

erniedrigt um 0,48°. Die Temperatur des Apparates war erhöht um 6,81°. Eine Temperaturabnahme von 2000 g Wasser um 0,48° entspricht aber einem

Fig. 146.

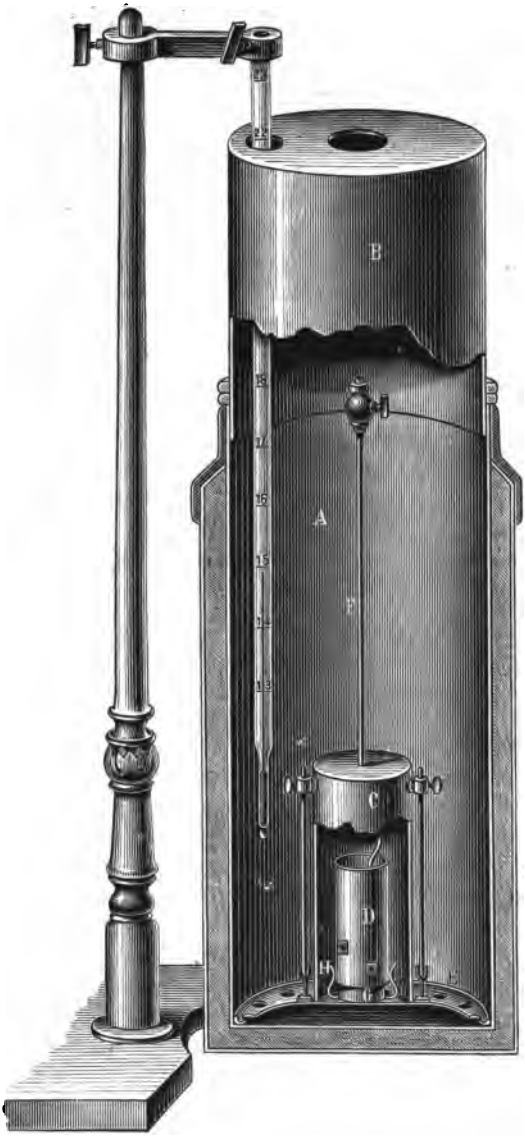


Fig. 147.

Werthe von $2000 . 0{,}48 = 960$ W.-E. Also waren 960 W.-E. erforderlich, um den Apparat um 6,81° zu erwärmen. Oder es sind $\frac{960}{6{,}81} = 141$ W.-E.

erforderlich, um den Apparat um 1° zu erwärmen. Da aber die Zuführung von 1 W.-E. 1 g Wasser um einen Grad erwärmt, so ist der Wärmewerth des Apparates nach diesem Versuch auch gleichwerthig mit dem von 141 g Wasser.

Die zu verbrennende Substanz wird mit 13,34 g chlorsaurem Kalium und 1,66 g vorher geglühtem Braunstein in dem Verhältniß gemischt, daß von dem im Kaliumchlorat enthaltenden Sauerstoff ein Drittel bis zur Hälfte zur Verbrennung ausreicht. Dieses Gemisch wird locker in den 25 mm weiten und 72 mm hohen Platincylinder *D* gebracht, dessen Boden aus einer mit Gold eingelötheten Platinplatte gebildet wird. Die seitlich angebrachten 3 mm weiten Oeffnungen, welche die später folgende Lösung des gebildeten Chlorkaliums beschleunigen sollen, werden zunächst mit kleinen Scheiben von Seidenpapier verklebt, um ein vorzeitiges Herausfallen des Gemisches zu verhüten. Um die Heftigkeit der Verbrennung zu mäßigen, giebt man dem Gemisch noch, je nach der Natur des Brennstoffes, 0,5 bis 8 g gepulverten Bimsstein hinzu. Als Zündschnur wird ein starker baumwollener Faden, der vorher mit chlorsaurem Kalium getränkt ist, etwa 5 mm tief in die Mischung hineingesenkt. Inzwischen sind in den Cylinder *A* 2 kg Wasser gebracht, dessen Temperatur nach der Rumford'schen Compensationsmethode um so viel niedriger ist wie die der Umgebung, als sie nach Beendigung des Versuches höher ist. Der Platincylinder *D* wird nun so auf dem gebogenen Blech *E* befestigt, daß er mit seinem Boden auf dem kurzen Rohrstutzen *G* ruht und von den federnden Blechen *H* gehalten wird. Die Verbindung des gleichzeitig als Rührer dienenden, am Rande mit Löchern versehenen Bleches *E* mit der Glocke *C* wird durch zwei Messingstäbe *K* bewerkstelligt.

Die angebrannte Zündschnur glimmt, nachdem man die zuerst sich zeigende Flamme ausgeblasen hat, langsam und ruhig weiter. Man läßt sie verbrennen, bis der Funken nur noch wenige Millimeter von der zu entzündenden Mischung entfernt ist, setzt dann rasch die Glocke über den Platincylinder, befestigt dieselbe an dem gebogenen Blech und stellt die ganze Vorrichtung in das Calorimeter. Nach wenigen Secunden beginnt die Verbrennung: Gase dringen aus den unteren Oeffnungen der Glocke hervor, durchwirbeln das Wasser und entweichen an der Oberfläche, wobei das Wasser häufig ziemlich hoch aufspritzt. Um einem dabei stattfindenden Verlust an Wasser vorzubeugen, wird während der Verbrennung ein cylindrischer Aufsatz *B*, von gleichem Durchmesser wie das Calorimeter und 140 mm Höhe, oben mit einer 40 mm weiten runden Oeffnung versehen, auf das Calorimeter gesetzt, von dessen Wandung das etwa verspritzte Wasser in den Apparat zurückfließt. Gewöhnlich dauert die Verbrennung etwa eine halbe bis eine Minute. Während derselben entweichen, neben der aus der Oxydation der organischen Substanz hervorgehenden Kohlensäure, dichte weiße nebelförmige Dunstmassen von Chlorkalium, die an der Wand des Apparates herabgleiten und wie dichte Wolken sich ablagern, überall, wohin sie kommen, einen weißen Anflug zurücklassend. Hat die Gasentwicklung aufgehört, so öffnet man vorsichtig den an dem Rohr *F* befestigten Hahn, damit die Gase entweichen und das Wasser in die Glocke eintritt. Die Lösung des Chlorkaliums wird durch Bewegen des kleinen Apparates befördert.

Um nun aus der erhaltenen Temperaturzunahme die Verbrennungswärme zu berechnen, sind folgende Umstände zu berücksichtigen:

a) Die Molecüle des chlorsauren Kalis zerfallen in Chlorkaliummolecüle und Sauerstoffmolecüle, ein Theil der Kraft, welche die Atome des Kaliums, des Chlores und des Sauerstoffs im chlorsauren Kali verband, wird dabei in Wärme umgesetzt. Zersetzungswärme, positiv.

b) Ein Theil des Sauerstoffs verbindet sich mit dem Kohlenstoff und Wasserstoff der Substanz zu Kohlensäure und Wasser. Verbrennungswärme, positiv.

c) Das Chlorkalium löst sich unter Wärmebindung in Wasser. Wärmetönung, negativ.

d) Die Ueberwindung des Druckes, welcher den entweichenden Gasen durch die Wassersäule des Calorimeters entgegengesetzt wird, erfordert den Aufwand einer gewissen Menge von lebendiger Kraft, um deren Wärmeäquivalent die beobachtete Wärme zu gering erscheint. Also negativ.

e) Ein Theil der gebildeten Kohlensäure wird vom Wasser unter Freiwerden von Wärme gelöst, positiv.

f) Die Verbrennungsgase entweichen im mit Wasserdampf gesättigten Zustande, negativ.

g) Der Rest der Zündschnur, sowie die zum Verschluß der Oeffnungen des Verbrennungscylinders dienenden Papierscheibchen nehmen an der Verbrennung Theil. Verbrennungswärme, positiv.

h) Ein Theil des Chlorkaliums entweicht als Dunstmasse, ohne gelöst zu werden, durch das Calorimeterwasser, positiv, da der negative Effect unter c) dadurch verringert wird.

i) Unter Umständen bleibt ein Theil des Chlorkaliums bei der Bestimmung der Endtemperatur ungelöst. Positiver Effect aus gleichem Grunde wie unter h.

Sehen wir, wie weit diese Werthe sich ermitteln lassen:

a) Die Zersetzungswärme des chlorsauren Kalis bei dem Processe $KClO_3 = KCl + O_3$ ist nach Thomsen = 9713 W.-E. für 1 Grammmolecül, oder = 79,2 W.-E. für 1 g. Da in allen Versuchen 13,34 g chlorsaures Kali zur Verwendung kommen, so folgt hieraus eine Wärme von + 1057 W.-E.

b) Die Wärmetönung beim Lösen des Chlorkaliums entspricht 59,3 W.-E. für 1 g Chlorkalium. Die angewandte Menge des chlorsauren Kalis liefert bei der Zersetzung 8,12 g Chlorkalium. Die Wärmetönung beträgt daher — 482 W.-E.

c) Da die Höhe der Wassersäule, durch welche die Gase sich ihren Weg bahnen müssen, etwa 20 cm beträgt, also noch nicht den Druck einer Quecksilbersäule von 2 mm erreicht, so ist dieser Werth zu vernachlässigen, da er weit geringer ist als der Einfluß, welcher durch die Schwankungen des Luftdruckes herbeigeführt wird.

d) Von der gebildeten Kohlensäure wird ein Theil von dem Calorimeterwasser zurückgehalten. Die Menge derselben ist aber eine verschiedene, je nach der Geschwindigkeit, mit welcher die Gase durch das Wasser gehen. Bei einem Versuche, in welchem 1,5 g Stärkemehl verbrannt wurden enthielten

2000 g Calorimeterwasser 0,151 g Kohlensäure. Nach Thomsen beträgt die Lösungswärme der Kohlensäure 5880 W.-E. für 1 Grammmolecül, folglich für 1 g 134 W.-E. Nehmen wir die Zahl 0,151 g Kohlensäure als dem Durchschnitt entsprechend an, so ist hierfür eine Wärmeproduction zu rechnen von + 20 W.-E.

e) Der Wärmewerth des von den Gasen entführten Wasserdampfes ist ebenfalls keine constante Größe; er ist abhängig von der Menge der gebildeten Gase und von dem Sättigungszustand derselben. Die verwandte Menge von chlorsaurem Kali giebt bei der Zersetzung 5,22 g Sauerstoff ab, welche bei einer Temperatur des Calorimeterwassers von 20° ein Volum von 3918 ccm annehmen. Es mag die Annahme gestattet sein, daß bei jeder Verbrennung durchschnittlich ein Gasvolum von 3500 ccm verbleibe, welches sich beim Durchtritt durch das Calorimeterwasser mit Feuchtigkeit sättige. Bei einer Temperatur von 20° nimmt 1 Liter Luft 17,159 mg Wasserdampf auf, also die 3,5 Liter der entweichenden Gase 0,060 g Wasserdampf. Da die Dampfwärme des Wasserdampfes bei 20° = 592 W.-E., so entspricht die Bildung, oder, was für diese Zwecke dasselbe ist, die nicht erfolgende Condensation von 0,06 g Wasserdampf einem Wärmeverlust von — 36 W.-E.

f) Für die Menge der Substanz der Papierscheibchen und des Restes der Zündschnur kann ein Werth von 0,015 g Cellulose in Rechnung gestellt werden. Die Verbrennungswärme von 1 g Cellulose ist nach Stohmann = 4276 W.-E. Obige Menge entspricht daher einer Wärmeproduction von + 64 W.-E.

g) Zur Bestimmung des mit den Verbrennungsgasen entweichenden Chlorkalium verdampft man etwa 500 ccm des Calorimeterwassers zur Trockne und wägt den Rückstand, bestehend aus Chlorkalium und etwa unzersetzt gebliebenem chlorsauren Kali. Darin wird durch Titriren mit Silberlösung die Menge des Chlors bestimmt, welche in Form von Chlorkalium vorhanden ist. Die Differenz des Gewichtes des Trockenrückstandes und des gefundenen Chlorkaliums giebt die Menge des unzersetzt gebliebenen chlorsauren Kalis. Letzteres, auf Chlorkalium umgerechnet und zu dem durch Titriren gefundenen Chlorkalium hinzuaddirt, und die Summe beider, nachdem dieselbe für das Volum des angewandten Wassers berechnet ist, von 8,12 g, oder der Menge des dem angewandten chlorsauren Kali äquivalenten Chlorkalium abgezogen, giebt die Menge des Chlorkaliumdunstes, dessen Wärmewerth als Correction in Rechnung gestellt wird.

Positiv:	Zersetzungswärme des chlorsauren Kalis . . .	1057	W.-E.
	Lösungswärme der Kohlensäure	20	„
	Verbrennungswärme der Zündschnur ꝛc. . . .	64	„
	Zusammen .	1141	W.-E.
Negativ:	Wärmetönung des Chlorkaliums	482	W.-E.
	Wärmewerth des Wasserdampfes	36	„
	Zusammen .	518	W.-E.

Die Differenz beider Summen oder 1141 — 518 = + 623 W.-E. ist von der gefundenen Verbrennungswärme abzuziehen.

Stohmann selbst giebt an, daß man im günstigsten Falle hoffen darf, unter zehn Versuchen fünf zu haben, aus denen eine brauchbare Durchschnittszahl abzuleiten ist. Berücksichtigt man ferner, daß die Zersetzungswärme des chlorsauren Kaliums noch keineswegs sicher festgestellt ist, so wird man zugeben, daß dieses Verfahren vielleicht für Brennwerthbestimmungen von Lebensmitteln empfehlenswerth sein mag, für welche es Stohmann zunächst anwendet, daß aber für die Untersuchung der eigentlichen Brennstoffe die Verbrennung im freien Sauerstoff vorzuziehen ist.

Da die nach außen führenden Ansätze bei den Apparaten von Dulong sowie von Favre und Silbermann zu Wärmeverlusten Veranlassung geben, die Abführung der Verbrennungsproducte bei letzterem Apparat von dem Deckel aus nicht besonders empfehlenswerth ist, so habe ich mir den in Fig. 148 (a. f. S.) in $^1/_3$ natürlicher Größe im Durchschnitt dargestellten Apparat anfertigen lassen. Die in dem Verbrennungsraum *A* mit aufgeschraubtem Deckel entwickelten Verbrennungsgase gehen nach unten durch das Rohr *i* in den flachen Raum *c*, werden hier, wie der Querschnitt Fig. 149 zeigt, durch einen Einsatz gezwungen, zunächst bis an die äußeren Wandungen zu gehen, dann sich langsam durch den ganzen Raum *c* zu bewegen, um durch das flache Rohr *e* zu entweichen. Die Verbrennungskammer wird mittels der drei Füße *f* am Boden des kupfernen Kühlgefäßes *B* durch entsprechende Vorsprünge festgehalten. Der ganze Apparat ist aus 940theiligem Silber hergestellt.

Mit dem silbernen Apparate sind in der Wasserlinie durch kurze Gummischläuche die gläsernen Ansätze *a* und *b* verbunden. Der zur Verbrennung erforderliche, völlig trockene Sauerstoff, dessen Temperatur genau bestimmt wird, tritt durch das mit einer übergreifenden eingeschliffenen Glasplatte bedeckte Rohr *a* in den Verbrennungsraum und führt so die von der Verbrennung nach oben gehende Wärme wieder nach unten, damit sie völlig vom Kühlwasser aufgenommen wird. Die durch den Ansatz *b* entweichenden Verbrennungsgase, deren Temperatur durch das Thermometer *t* bestimmt wird, gehen zur Bestimmung des gebildeten Wassers und der Kohlensäure durch entsprechende Chlorcalcium- und Kaliapparate, dann zur Bestimmung der nicht völlig verbrannten Stoffe durch ein Rohr mit glühendem Kupferoxyd und nochmals durch Chlorcalcium und Kali (S. 127). Der übrig gebliebene Sauerstoff wird zur Messung in einem Gasometer aufgefangen und kann zu einem späteren Versuche wieder verwendet werden.

Der Raum *C* zwischen dem versilberten Kupfergefäß *B* und dem Holzbehälter *D* ist mit Glaswolle gefüllt. Der versilberte Deckel *n* besteht aus zwei Hälften, deren eine zwei halbkreisförmige Ausschnitte für die Röhren *a* und *b*, eine Oeffnung für das Thermometer *t* und zwei für die versilberte Rührvorrichtung *r* hat. Um die Wärmeübertragung von diesem Rührer auf die Umgebung möglichst zu vermindern, sind die beiden letzteren Oeffnungen im Deckel mit kleinen Elfenbeinführungen ausgesetzt; außerdem sind die beiden Drähte, welche die Scheibe *r* tragen, oben in ein Elfenbeingestell *m* eingeschraubt. Zur Bewegung des Rührers geht eine Seidenschnur *o* über eine von einem Messingbügel (der hier der Deutlichkeit wegen seitlich gezeichnet ist) getragene Rolle, so daß man während eines Versuches aus 2 bis 3 m Entfernung mittels eines Kathetometers

Fig. 148.

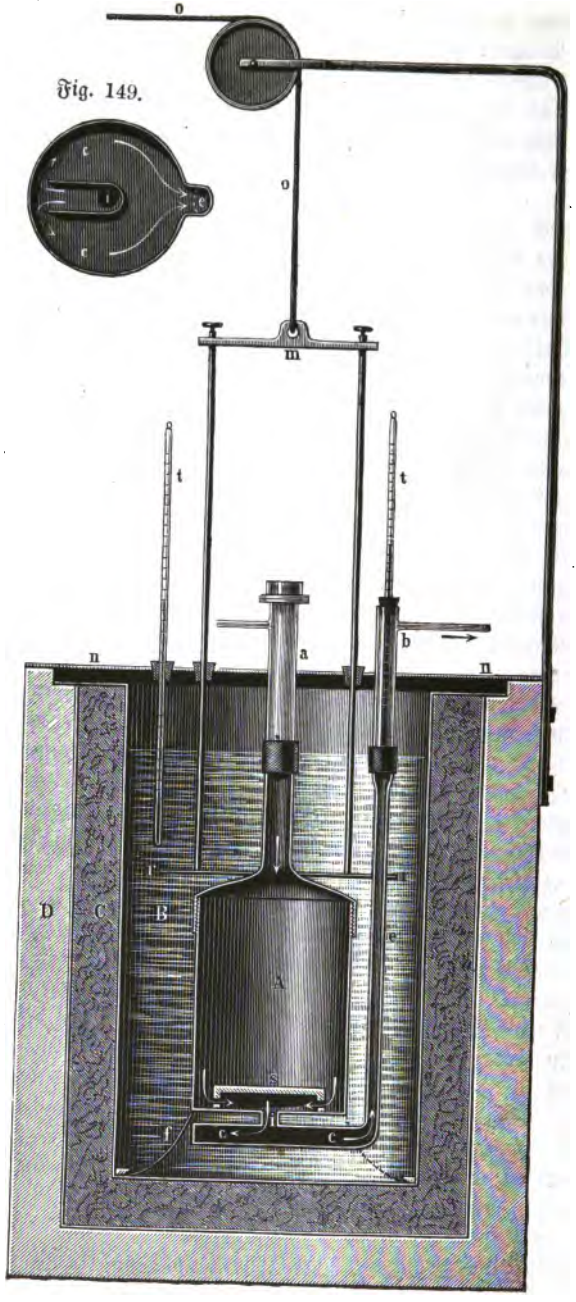


Fig. 149.

YC 70295